هيدروليكا المضخات والقنوات المكشوفة

الأستاذ الدكتور
سمير محمد إسماعيل
أستاذ نظم الرى
قسم الهندسة الزراعية
كلية الزراعة - جامعة الإسكندرية

الناشر
مكتبة بستان المعرفة
لطبع ونشر وتوزيع الكتب
كفر الدوار - الحدائق ☎: ٠٤٥/٢٢٤٢٢٨

اسم الكتاب: هيدروليكا المضخات والقنوات المكشوفة

اسم المؤلف: أ.د/ سمير محمد إسماعيل

رقم الإيداع بدار الكتب والوثائق المصرية: ١٨٢٥ / ٢٠٠١

الترقيم الدولى: I.S.B.N 977 - 6015 - 17 - 4

الطبعة: الأولى

التجهيزات الفنية: كمبيوتر 2000 ☎: ٠٤٥/٢١٥٩٦٥.

الطبع: دار الجامعيين للطباعة والتجليد الاسكندرية ☎: ٠٣/٤٨٦٢٠٠٤.

الناشر: بستان المعرفة

كفر الدوار - الحدائق - ٦٧ ش الحدائق بجوار نقابة التطبيقيين

تليفون: ٠٤٥/٢٢٤٢٢٨ & ٠١٢٣٥٣٤٨١٤.

جميع حقوق الطبع والنشر محفوظة للناشر

ولا يجوز طبع أو نشر أو تصوير أو إنتاج هذا المصنف أو أى جزء منه بأية صورة من الصور بدون تصريح كتابى مسبق من الناشر.

مُقَدِّمَة

يحتوى هذا الكتاب على الأساسيات والجوانب التطبيقية اللازمة لكل من المضخات وسريان المياه فى القنوات المكشوفة والتى يحتاجها المهندس فى عمله وتعتبر أساسية لأى مادة دراسية تتعرض فى محتوياتها للمضخات أو السريان فى القنوات المكشوفة كما تعتبر جزء أساسى لدراسة نظم الرى وهندسة الرى والصرف.

فالمضخات تلعب دورا أساسيا فى حياتنا اليومية حيث لانستطيع أن نتخيل شكل الحياة اليومية بدون إستخدام المضخات فى تحريك ورفع السوائل بصفة عامة وقد أدرك المصريون القدماء هذا فاستخدموا الطرق البدائية فى رفع المياه لرى أراضيهم التى لايزيد إرتفاعها على حوالى ٢ متر عن مستوى المياه فى الترعة ومن هذه الوسائل البدائية الشادوف والطنبور والتى تستخدم طاقة الإنسان والساقية التى تستخدم طاقة الحيوان. وطاقة الإنسان تعتبر مكلفة بالنسبة للطاقة الكهربية حيث أن الرجل القوى الصحيح البنية يمكنه أن يولد فى الساعة ما يقل عن $\frac{١}{٨}$ كيلووات. ساعة فإذا كان أجر العامل فى زمن ٨ ساعات عمل عشرة جنيهات وذلك لتوليد واحد كيلووات. ساعة فى حين يمكن الحصول على هذه الطاقة من الكهرباء بسعر حوالى ١٠ قروش للكيلووات. ساعة وبذلك تكون تكلفة الطاقة الإنسانية ١٠٠ ضعف الطاقة الكهربية. هذا بخلاف محدودية كمية المياه التى يمكن رفعها ومقدار الرفع المحدود لهذه الوسائل البدائية. فيمكن لرجل واحد تشغيل شادوف لرفع الماء بمعدل ما يقرب من لتر واحد فى الثانية لمسافة حوالى ٢ متر بينما يمكن للساقية التى تدار بالحيوانات رفع ما يقرب من ٢٠ لتر/ث لمسافة حوالى ٢متر.

وتوجد مساحات شاسعة من الأراضى لايمكن توصيل المياه إليها بسريانها بالجاذبية خلال الترع (القنوات المكشوفة) أو الأنابيب (خطوط المواسير) وذلك لإرتفاع منسوبها (المياه لاتجرى فى العالى). ولذلك يلزم لتوصيل المياه إليها رفعها باستخدام المضخات مما يتطلب إنشاء محطات رفع على الترع كما هو الحال فى ترعة النصر والبستان التى تأخذ مياهها من ترعة النوبارية لتغذى أراضى منطقة بنجر السكر وغرب النوبارية والبستان حيث يوجد ٥ محطات رفع على امتداد ترعة النصر ترفع المياه بمقدار ١٠ متر لمسافة ١٠ كيلومتر بين محطات الرفع. ولايمكن إيضاً استخدام طرق الرى المتطور بدون دفع المياه تحت ضغط خلال شبكات الأنابيب وذلك عن طريق استخدام المضخات وهذا الكتاب لايتعرض بالطبع إلى شبكات الرى والصرف حيث سيتم إن شاء الله قريباً إصدار سلسلة الكتب المتخصصة فى نظم الرى المتطور.

ومن الضرورى عند استخدام المضخات أن يتم اختيارها لتناسب العمل المطلوب لكى يتم تشغيلها بكفاءة عالية فلايصح اختيار مضخة تعطى تصرف أعلى من المطلوب عند ضغط منخفض أو العكس حيث تنخفض كفاءة المضخة عن الكفاءة التصميمية لها. ولذلك فسوف نتعرض فى هذا الكتاب لنقطة تشغيل المضخات بالإضافة إلى تشغيل المضخات على التوالى والتوازى وسوف نتعرض أيضاً للأنواع المختلفة للمضخات سواء الديناميكية أو الإيجابية وأعطالها والسبب المحتمل لهذه الأعطال. كذلك سوف نتعرض لتحديد السحب المسموح للمضخة بالإضافة إلى تكاليف تشغيل المضخات

ويتعرض هـذا الكتـاب أيضـا إلـى الأسـس التـى تحكـم سـريان الميـاه فـى القنوات المكشوفة وهى تسرى على سريان المياه فى الترع والمصـارف بمختلـف درجاتها. كما يتعرض الكتـاب أيضـا إلـى هيدروليكـا سـريان الميـاه فـى الأنـابيب والطرق المختلفة لحساب الاحتكاك فى الأنابيب بالإضافـة إلـى مقدمـة فـى الآلات الهيدروليكية وذلك ضمن محتويات الباب الأول. واتقدم بالشكر لكـل مـن قـدم لـى الجهد والمشورة لإخراج هذا الكتاب وأملى كبير فى وجه الله تعالى أن يستفيد بـه كل من الدارسين والمشتغلين سواء فـى مجـال الهندسـة أو الزراعـة. وأسـأل اللـه سبحانه وتعالى التوفيق والسداد.

"ربنا لاتؤخذنا إن نسينا أو أخطأنا، ربنا ولا تحمل علينا أصراً كما حملته على الذين من قبلنا ربنا ولا تحملنا مالا طاقة لنا به، واعف عنا واغفر لنا وارحمنا أنت مولانا فانصرنا على القوم الكافرين"

صدق الله العظيم

سورة البقرة الجزء الثالث الآية ٢٨٦

الباب الأول

أساسيات الهيدروليكا

Hydraulic Fundamentals

الباب الأول

أساسيات الهيدروليكا

Hydraulic Fundamentals

١-١- الخواص الهيدروليكية للموائع

الكثافة Density:

الكثافة ρ لمائع هى كتلته لوحدة الحجم. ويعبر عنها فى النظام الإنجليزى بالسلج لكل قدم مكعب ($slug/ft^3$) يعبر عنها فى النظام المترى أو الدولى (SI) بالكجم/م٣ (kg/m^3).

الوزن النوعى Specific Weight:

الوزن النوعى γ لمائع هو وزنه لوحدة الحجم. وبالتالى يكون له وحدات قوة لوحدة الحجوم أى رطل لكل قدم مكعب (lb/ft^3) أو نيوتن/م٣ (N/m^3) والكثافة والوزن النوعى للمائع يرتبطان كما يلى:

$$\rho = \frac{\gamma}{g} \quad or \quad \gamma = \rho g$$

حيث g: عجلة الجاذبية الأرضية (٩,٨١ متر/ث٢) فى النظام المترى ٣٢,٢ قدم/ث٢ فى النظام الإنجليزى.

ويجب ملاحظة أن الكثافة ρ مطلقة حيث أنها تعتمد على الكتلة التى لاتعتمد على الموقع بينما الوزن النوعى γ لاتكون قيمته مطلقة لأنه يعتمد على عجلة الجاذبية الأرضية g التى تتغير مع الموقع والذى يعتمد أساساً على خط العرض والمنسوب فوق سطح البحر.

الكثافة النوعية Specific Gravity:

الكثافة النوعية ρ_s للمائع هى النسبة بين كثافته وكثافة الماء النقى عند درجة الحرارة القياسية ولقد استخدم الفيزيائيون درجة ٤ مئوية كدرجة قياسية، ولكن غالباً ما يستخدم المهندسين ٦٠ درجة فهرنهيت.

فى النظام المترى كثافة الماء عند درجة ٤°م هى ١جم/سم٣ وتساوى $1000\ kg/m^3$ أو تساوى ١ ميجاجرام/م٣ ($1\ Mg/m^3$) وبالتالى فإن الكثافة النوعية (والتى تعتبر لابعدية) لها نفس القيمة العددية لكثافة السائل فى ذلك النظام حيث ان كثافته يعبر عنها بـ g/m^3 أو Mg/m^3 حيث أن كثافة المائع تتغير بدرجة الحرارة، فأنه يجب تعيين الكثافة النوعية وتحديدها عند درجات حرارة معينة.

مثال:

الوزن النوعى للماء عند الضغط ودرجة الحرارة العاديين هو $62.4\ lb/ft^3$ ($9.81\ kN/m^3$) الكثافة النوعية للزئبق هى ١٣,٥٥ احسب كثافة الماء ρ_w وكذلك الوزن النوعى والكثافة للزئبق γ_{Hg} , ρ_{Hg} على الترتيب.

الحل:

$$\rho_w = \frac{\gamma_w}{g} = \frac{62.4\,lb/ft^3}{32.2\,ft/s^2} = 1.94\,slugs/ft^3$$

$$\rho_w = \frac{\gamma_w}{g} = \frac{9.81\,kN/m^3}{9.81\,m/s^2} = 1000\,kg/m^3 = 1g/cm^3 = 1Mg/m^3$$

$$\gamma_{Hg} = \rho_s \gamma_w = 13.55(62.4) = 846\,lb/ft^3$$

$$\gamma_{Hg} = \rho_s \gamma_w = 13.55(9.81) = 133\,kN/m^3$$

$$\rho_{Hg} = \rho_s \gamma_w = 13.55(1.94) = 26.3\,slugs/ft^3$$

$$\rho_{Hg} = \rho_s \gamma_w = 13.55(1.0) = 13.55\,g/cm^3 = 13550\,kg/m^3$$

التعبير عن الضغط بعمود من المائع:

يعبر عن العلاقة بين الضغط وعمود المائع (الضاغط) طبقاً للعلاقة الآتية:

$$h = \frac{P}{\gamma}$$

P : الضغط بالرطل/ قدم المربع أو كيلونيوتن/ المتر المربع.

γ : الوزن النوعى رطل/ قدم مكعب أو كيلو نيوتن/ المتر المكعب.

h : الضاغط بالقدم او المتر.

وحيث أن قيمة γ للماء هى:

$$\gamma_w = 9.81 kN/m^3 = 62.4 lb/ft^3$$

$$h(ft\, of\, H_2O) = \frac{144 \times psi}{62.4} = 2.308 \times psi$$

$$h(m\, of\, H_2O) \frac{kN/m^2}{9.81} = 0.102 \times kN/m^2 = 0.102 \times kPa$$

القدرة المائية Water Power

$$WKW = \gamma Q h$$

حيث:

h : الضاغط m

γ : الوزن النوعى kN/m^3

Q : التصرف m^3/s

WKW: القدرة المائية بالكيلووات

$$WKW = 9.81\left(\frac{kN}{m^3}\right) \times \left(\frac{m^3}{s}\right) \times (m)$$
$$= 9.81 \times Q \times h$$

ولحساب القدرة المائية بالحصان فى حالة وجود مائع غير الماء نقوم بالضرب فى الكثافة النسبية للمائع.

$$WHP = \frac{Q(m^3/h) \times h(m)}{270}$$

$$WHP = \frac{Q(gpm) \times h(ft)}{3960}$$

ولتحويل القدرة بالحصان إلى كيلو وات

فى النظام المترى kW = 1.36 HP

فى النظام الإنجليزى kW = 1.34 HP

أى لتحويل الحصان الميكانيكى فى النظام المترى إلى كيلووات تقسم على ١,٣٦ ولتحويل الحصان الميكانيكى فى النظام الإنجليزى إلى كيلووات نقسم على ١,٣٤.

قدرة المضخة الفرملية Pump Brake Horse Power

للحصول على القدرة الفرملية اللازمة لإدارة المضخة نقوم بقسمة القدرة المائية على كفاءة المضخة.

$$BHP = \frac{WHP}{Pump\ Eff.}$$

قدرة المحرك Motor Horse Power

للحصول على القدرة اللازمة لإدارة المحرك نقوم بقسمة قدرة المضخة الفرملية على كفاءة المحرك.

$$HP\ input\ to\ Motor = \frac{BHP}{Motor\ Eff.} = \frac{WHP}{Pump\ Eff \times Motor\ Eff.}$$

القدرة الكهربية للمحرك بالكيلووات:

فى حالة تيار متردد إحادى الطور Single phase

$$KW = \frac{Amps \times Volts \times P.F.}{1000}$$

حيث $P.F.$ معامل القدرة (يساوى تقريبا ٠,٨) حيث انه فى التيار المتردد يصنع إتجاه التيار مع الفولت زاوية جيب تمامها يساوى معامل القدرة.

فى حالة تيار كهربى متردد ثلاثى الأطوار Three phase

$$KW = \frac{Amps \times Volts \times \sqrt{3} \times P.F.}{1000}$$

١-٢- هيدروليكا خطوط الأنابيب Pipeline Hydraulics

العلاقة بين الضغط والضاغط:

إذا فرض خزان مملوء بالمياه فإن الضغط Pressure عند نقطه داخله يساوى حاصل ضرب وحدة وزن المياه (الوزن النوعى) ٩,٨١ كيلو نيوتن/م٣ (٦٢,٤ باوند/ قدم٣) وارتفاع الماء فوق هذه النقطة. وإرتفاع الماء فى هذا العمود يسمى الضاغط Head. ولهذا فإن الضغط والضاغط ببساطة يعبران عن شئ واحد. والضغط عادة يعبر عنه بالكيلو بسكال Kilopascals (Kpa) أو باوند على البوصة المربعة (psi) أما الضاغط فيعبر عنه بالمتر أو القدم لعمود السائل

أو الماء إذا كان نوع السائل مياه وبذلك يكون كيلوبسكال ضغط يكافى ٠,١٠٢ متر ماء ضاغط أو ١ باوند/ بوصة^٢ يعادل ٢,٣١ قدم ماء ضاغط. أو ١متر ضاغط ماء يعادل ٩,٨ كيلوبسكال ضغط أو ١ قدم ضاغط ماء يعادل ٠,٤٣٣ باوند/ بوصة^٢ ضغط. ففى خطوط الأنابيب أو شبكات المواسير فإن الضاغط يتكون من عدة مكونات هى:

١- الضاغط الإستاتيكى Static head H_{st} عند نقطة معينة يساوى الفرق فى المنسوب بين هذه النقطة ونقطة أخرى مرجعية قد تكون مستوى المضخة.

٢- ضاغط الضغط Pressure head وهو يساوى الضغط P عند هذه النقطة مقسوما على الوزن النوعى للمياه إذا كان نوع السائل مياه.

٣- ضاغط السرعة Velocity head $\left(\frac{V^2}{2g}\right)$ وهو الضاغط المطلوب لتحريك المياه من السكون بإكسابها سرعة عند هذه النقطة حيث V السرعة، g عجلة الجاذبية الأرضية ٩,٨١ م/ث^٢ أو ٣٢,٢ قدم/ث^٢.

٤- ضاغط الإحتكاك Friction head, h_f وهو عبارة عن الطاقة المطلوبة لسريان المياه بين نقطتين عند نفس المنسوب ويعبر عنه بالمتر أو قدم ماء.

٥- ضاغط الوضع Elevation head (Z) لنقطة معينة هو المسافة الرأسية بين هذه النقطة وخط مقارنة إفتراضى ويكون إشارته موجبة إذا كانت هذه النقطة فوق خط المقارنة أو سالبة إذا كانت أسفل مستوى المقارنة.

تعرضنا سابقا للصور المختلفة للضاغط ولكن سوف نتعرض هنا لكيفية حساب ضاغط الإحتكاك أو الفاقد فى الطاقة نتيجة الإحتكاك فى خطوط الأنابيب والذى يطلق عليه بالفاقد الرئيسى وكذلك سوف نتعرض لحساب الفاقد فى المنحنيات أو وصلات المواسير والمحابس المختلفة والذى يطلق عليه بالفاقد الثانوى.

حساب الإحتكاك فى الأنابيب:

١ - معادلة هيزن وليامز

من أشهر المعادلات لحساب الاحتكاك فى مواسير المياه بصفة عامة المعادلة المعروفة بمعادلة هيزن وليامز Hazen-Williams وهى

$$h_f = \frac{1.212 \times 10^{10} L}{D^{4.87}} \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852}$$

حيث:

h_f : ضاغط الإحتكاك أو الفاقد فى الضاغط نتيجة الإحتكاك بالمتر.

L : طول الأنبوبة بالمتر.

Q : التصرف المار بالأنبوبة باللتر/ثانية.

C : معامل الإحتكاك ويطلق عليه معامل هيزن وليامز وهو يعتمد على نوع مادة الماسورة.

D : القطر الداخلى للماسورة بالمم.

والجدول التالى يعطى القيم المختلفة لمعامل هيزن وليامز.

نوع مادة الماسورة	C
بلاستيك	١٥٠
صلب مغطى بمادة الأيبوكس	١٤٥
أسبستوس أسمنتى	١٤٠
صلب مجلفن	١٣٥
ألومنيوم (وصلات كل ٩متر)	١٣٠
صلب (جديد)	١٣٠
صلب عمر ١٥ سنة	١٠٠
خرسانة	١٠٠

وضعت معادلة هيزن وليامز لمواسير شبكات المياه ذات الأقطار ٣ بوصة فأكبر التى تحمل تصرفات ٣ لتر/ث فأكبر والتى يكون فيها رقم رينولدز Re أعلى من ٥ × ١٠ ⁴ ولذلك فهى تعطى نتائج مرضية تحت هذه الظروف. ولكن عند إستخدامها لأقطار الأنابيب الصغيرة والبلاستيكية ذات الجدران الناعمة Smooth-Walled كما هو الحال فى شبكات الرى بالتنقيط فإن إستخدام معادلة هيزن وليامز بمعامل إحتكاك C = 150 يعطى قيم للفاقد فى الإحتكاك أقل من القيم الفعلية. ولذلك جرت العادة على أخذ C = 140 للمواسير البلاستيك PVC ، PE للحصول على قيم متحفظة للإحتكاك.

٢ - معادلة سكوبى Scobey's equation

استخدمت معادلة سكوبى بكثرة فى إيجاد الفاقد فى الإحتكاك فى مواسير الرى بالرش وقد استنتجت أساساً للمواسير الصلب الملحوم ولكن للأقطار التى تبدأ من ٣ بوصة. ومعادلة سكوبى توضع على الصورة التالية:

$$h_f = \frac{K_s\, L Q^{1.9}}{D^{4.9}} (4.10 \times 10^{6})$$

حيث:

h_f : الفاقد فى الإحتكاك بالمتر.

K_s: معامل سكوبى ويعتمد على نوع مادة الماسورة.

L: طول الأنبوبة بالمتر.

Q: التصرف المار بالأنبوبة باللتر/ث.

D: القطر الداخلى للأنبوبة بالمم.

مواسير صلب ملحوم ومواسير الأسبستوس سمنت	$K_s = 0.32$
مواسير خرسانية	$K_s = 0.34$
مواسير صلب ملحوم عمر ١٥ سنة	$K_s = 0.36$
مواسير صلب أو مواسير ألومنيوم	$K_s = 0.4$
مواسير صلب مجلفن	$K_s = 0.42$

٣- معادلة دارسى وايزباك Darcy - Weisback equation

وقد يطلق على هذه الطريقة بالطريقة العلمية Scientific Method وتربط معادلة دارسى وايزباك بين معامل الإحتكاك والفاقد فى الإحتكاك كما يلى:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

حيث:

f : معامل الاحتكاك

V : سرعة السريان داخل الأنبوبة م/ث

g : عجلة الجاذبية ٩,٨١ متر/ث^2.

D : القطر الداخلى للأنبوبة متر.

وتوضح معادلة دارسى أن الفاقد فى الإحتكاك يتناسب مع طاقة حركة السريان وطول الأنبوبة ويتناسب عكسياً مع قطر الأنبوبة. وقد وجد أن معامل الأحتكاك f يعتمد على رقم رينولد (Re) Renolds number للسريان وكذلك الخشونة النسبية للأنبوبة Relative roughness ورقم رينولد هو حد لابعدى يعبر عن النسبة بين طاقة القصور الذاتى التى تحرك السريان والطاقة المفقودة فى اللزوجة التى تقاوم السريان ورقم رينولد يحسب من المعادلة:

$$R_e = \frac{\rho V D}{\mu}$$

حيث

ρ : الكثافة للمائع.

μ : اللزوجة المطلقة للمائع.

السريان بسرعة صغيرة لمائع مرتفع اللزوجة أو السريان داخل الأنابيب ذات الأقطار الصغيرة يكون قيمة رقم رينولد أقل من ٢٠٠٠. في هذه الحالة تكون خطوط السريان متوازية ولايحدث خلط للمائع داخل الأنبوبة أي يحدث الإحتكاك بين طبقات السائل وفي هذه الحالة يسمى السريان بالسريان الرقائقي Laminar flow ويحسب معامل الإحتكاك كالآتي:

$$f = \frac{64}{R_e}$$

ويتضح أن العلاقة بين رقم رينولد ومعامل الإحتكاك خطية وعندما تزيد سرعة السريان ويزداد رقم رينولد عن ٢٠٠٠ يبدأ السريان في الإضطراب ويحدث به دوامات ويختلط السريان ببعضه ويكون الإحتكاك خارجي أي بين السريان وجدار الأنبوبة ولذلك فإن قيمة معامل الإحتكاك تعتمد على الخشونة النسبية للأنبوبة ورقم رينولد. ويعبر عن الخشونة النسبية E كما يلي:

$$E = \frac{e}{D}$$

حيث:

e : الخشونة المطلقة لجدار الأنبوبة.

D : القطر الداخلي للأنبوبة.

وقد قام Nikuradse بتجارب واسعة لإيجاد تـأثير خشـونة سـطح الأنـابيب على السريان وذلك بتغطية السطح الداخلى لأقطـار مختلفـة مـن الأنـابيب بأقطـار مختلفة لحبيبات الرمال وبناء على ذلك بـدأ ظهـور الإصطـلاح الخشـونة المكافئـة للرمال equivalent sand roughness ولذلك تعطـى قيـم الخشـونة المكافئـة للرمـال لمختلف مواد الأنابيب التجارية المتاحة كما يلى:

جدول الخشونة المطلقة للأنابيب المختلفة

نوع مادة الأنبوبة	e قدم	e (مم)
صلب مبرشم	٠,٠٠٣ – ٠,٠٠٣	٠,٩ – ٩
خرسانة	٠,٠٠١ – ٠,٠١	٠,٣ – ٣
خشب	٠,٠٠٦ – ٠,٠٠٣	٠,١٨ – ٠,٩
حديد زهر	٠,٠٠٠٨٥	٠,٢٥
حديد مجلفن	٠,٠٠٠٥	٠,١٥
حديد زهر مسفلت	٠,٠٠٠٤	٠,١٢
صلب أو حديد مطاوع	٠,٠٠٠١٥	٠,٠٤٥
أنابيب مسحوبة	٠,٠٠٠٠٠٥	٠,٠٠١٥

وقد بينت نتائج التجـارب التـى قـام بهـا نيكـورادس Nikuradse أنـه بينمـا تؤثر خشونة سطح الأنابيب على السـريان عند القيم المرتفعـة لرقـم رينولـد فـإن معـامل الإحتكـاك يكـون مستقل عـن رقـم رينولـد. وقـد قـام فـون كـارمن Von karman باستخدام نظرية الطبقة الحديـة boundary layer فـى الوصـول إلـى معادلة للإضطراب الكامل للأنابيب الخشنة وكانت المعادلة الناتجة لتعييـن معـامل الإحتكاك هى:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.14 + 2\log\frac{D}{e}$$

وقد قام مودى Moody بتوقيع معادلات نتائج نيكورادس على خريطة شهيرة عرفت بأسمه خريطة مودى Moody Diagram كما هى مبينة بالشكل (١-١).

ويجب التنويه هنا إلى أن كل من النتائج النظرية والتجريبية لاتعطى نتائج مؤكدة لمعامل الإحتكاك عند منطقة إنتقال السريان من الرقائقى إلى الإضطرابى Laminar to tubulent ولكن من الناحية العملية فإن المصمم دائماً يهتم بقيمة معامل الإحتكاك عند السريان الإضطرابى.

ويمكن تلخيص طريقة إيجاد معامل الإحتكاك بالطريقة العلمية فى حساب رقم رينولد أولاً فإذا كان أقل من أو يساوى ٢٠٠٠ كان السريان رقائقى ويمكن إيجاد معامل الإحتكاك مباشرة من معادلة السريان الرقائقى.

$$f = \frac{64}{R_e}$$

أما إذا تعدت قيمة رقم رينولد ٢٠٠٠ نقوم بإيجاد الخشونة النسبية لمادة الأنبوبة ثم نستخدم خريطة مودى فى إيجاد معامل الإحتكاك وأخيراً نقوم بالتعويض فى معادلة دراس لإيجاد الفاقد فى الضاغط نتيجة الإحتكاك.

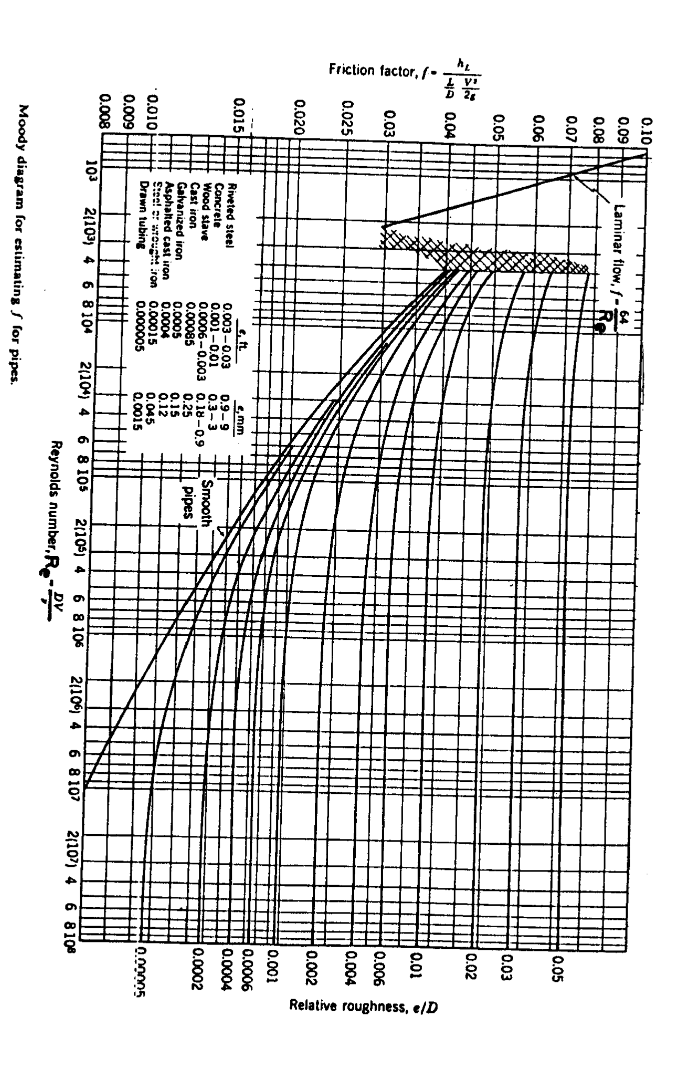
ويحسب رقم رينولد للمياه عند درجة حرارة ٢١ درجة مئوية من المعادلة:

$$R_e = 1.3 \times 10^6 \frac{Q}{D}$$

حيث:

Q: التصرف لتر/ث

D: القطر الداخلى للأنبوبة بالمم.



Moody diagram for estimating f for pipes.

شكل (١-١): خريطة مودى

مثال:

خط أنابيب مياه طوله ١٢كم ويحمل تصرف ٠,٢ م^3/ث. قطر الخط ٣٠سم والخشونة النسبية ٠,٠٠٤ احسب التغير فى الضاغط المفقود بالإحتكاك إذا تغيرت درجةحرارة المياه من ٣٠°م إلى ٦٥°م.

الحل:

متوسط سرعة السريان

$$V=\frac{Q}{A}=\frac{0.2}{\frac{\pi}{4}(0.3)^2}=2.8m/s$$

اللزوجة الكيناماتيكية للمياه Kinematic viscosity

$$@30^\circ C \qquad \upsilon=9\times10^{-7}\,m^2/s$$

$$@65^\circ C \qquad \upsilon=4.5\times10^{-7}\,m^2/s$$

$$\upsilon=\frac{\mu}{\rho}$$

$$R_e=\frac{V.D}{\upsilon}$$

$$R_e@30^\circ C \qquad =\frac{2.8(0.3)}{9}\times10^{7}=9.43\times10^{5}$$

$$R_e@65^\circ C \qquad =\frac{2.8(0.3)}{4.5}\times10^{7}=18.8\times10^{5}$$

$$\frac{e}{D}=0.004$$

وحيث أن قيمة رقم رينولد كبيرة فإنه بالكشف عن معامل الإحتكاك فى خريطة مودى شكل (١-١) السابق فى الحالتين نجد أن

$$f@65^\circ C\approx f@30^\circ C=0.0282$$

أى أن معامل الإحتكاك لم يتغير قيمته بتغير درجة حرارة المياه من ٣٠°م إلى ٦٥°م وذلك لأن السريان عند الإضطراب الكامل الذى لايتأثر فيه قيمة معامل الإحتكاك برقم رينولد وأيضاً فإن درجة الحرارة تؤثر على اللزوجة واللزوجة تؤثر بدرجة كبيرة على معامل الاحتكاك فى السريان الرقائقى. ولذلك فإن معامل الإحتكاك يكون متساوى فى حالة السريان الإضطرابى كما يلى:

$$hf = f\frac{L}{D}\frac{V^2}{2g} = 0.0282\,\frac{12000}{0.3}\,\frac{(2.8)^2}{2\times 9.81}$$
$$= 450.0m$$

وهذا الفاقد فى الضاغط لطول خط الأنابيب ١٢كم.

أى أن الفاقد فى الضاغط = $\frac{٤٥٠}{١٢٠٠٠}$ × ١٠٠ = ٣,٧٥ متر/ ١٠٠متر

بمعنى أن الفاقد فى الضاغط نتيجة الإحتكاك يساوى ٣,٧٥ متر لكل ١٠٠ متر طول من الأنبوبة.

حساب الفاقد الثانوى Local or Minor Losses

يطلق على الفاقد فى المحابس والوصلات والإنحناءات فى خط الأنابيب بالفاقد الثانوى وعادة يحسب كمعامل مضروب فى طاقة السرعة كما يلى:

$$h_v = K\frac{V^2}{2g}$$

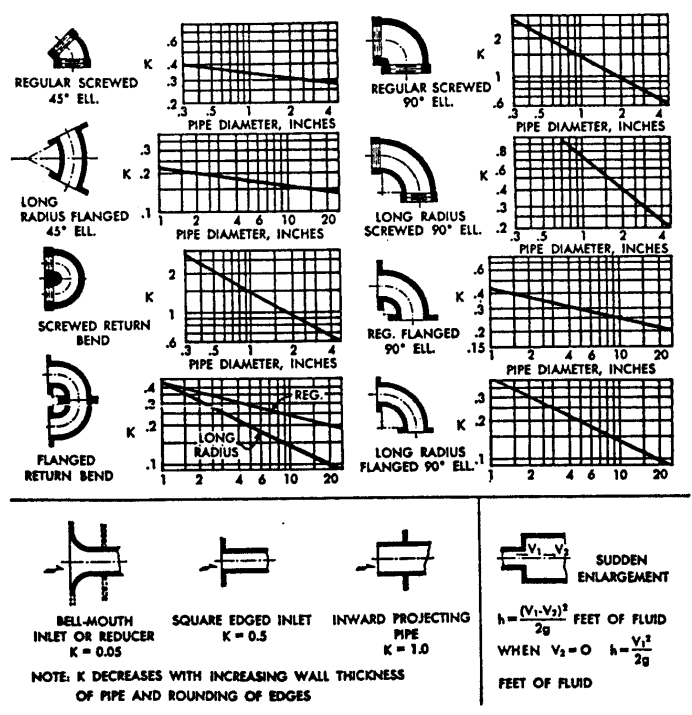
حيث:

h_v : مقدار الفاقد الثانوى بالمتر.

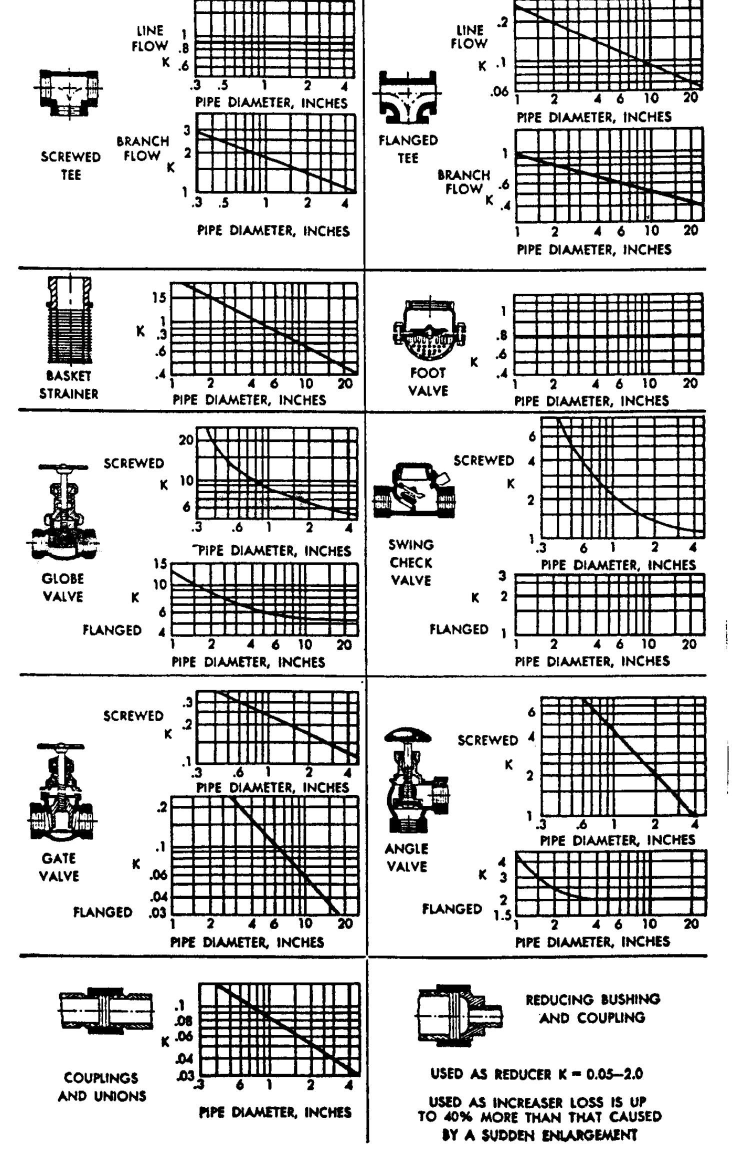
K : معامل الفاقد الثانوى.

ويمكن إيجاد معامل الفاقد الثانوى من الجدوال والمنحنيات شكل (١-٢) حسب نوع المحبس أو الوصلة أو الإنحناء.

ففى خطوط الأنابيب الطويلة عادة مايكون الفـاقد الثـانوى صـغير بالنسـبة للفاقد الرئيسى وهو الفاقد فى الإحتكاك أما بالنسبة للخطوط القصيرة فقـد يتسـاوى الفاقد الثانوى مع الفاقد فى الإحتكاك أما فـى خطـوط السـحب وخاصـة للطلمبـات الطـاردة المركزيـة فيتـم حسـاب الفواقـد الثانويـة وفواقـد الإحتكـاك وذلـك نظـراً لأهميتهـا فـى تحديـد أقصـى سـحب للمضخـة وفـى بعـض التصميمـات للشـبكات المختلفة قد يحدد للفاقد الثانوى نسبة من الفاقد بالإحتكاك كأن تكـون ١٠ أو ٢٠٪ تضاف على الفاقد فى الإحتكاك للخطوط الطويلة وقد يحـدد الفـاقد الثـانوى أيضـاً بطول مكافئ لخط الأنابيب ذات القطر المتساوى معها Equivalent length.



شكل (١-٢): معامل الفاقد الثانوى للمحابس والوصلات والإنحناءات المختلفة فى خطوط الأنابيب



تابع شكل (١-٢): معامل الفاقد الثانوى للمحابس والوصلات والإنحناءات المختلفة فى خطوط الأنابيب

١-٣- الآلات الهيدروليكية Hydraulic Machinery

الطاقة الهيدروليكية:

هى الطاقة التى يحتفظ بها المائع اما على هيئة طاقة حركية أوطاقة ضغط أو طاقة وضع. كما يتبين ذلك من معادلة برنولى والتى تنص على أن مجموع الطاقات الثلاثة يكون الطاقة الكلية E لوحدة الوزن.

$$E = Z + \frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} \qquad \frac{N.m}{N}$$

الطاقة الميكانيكية:

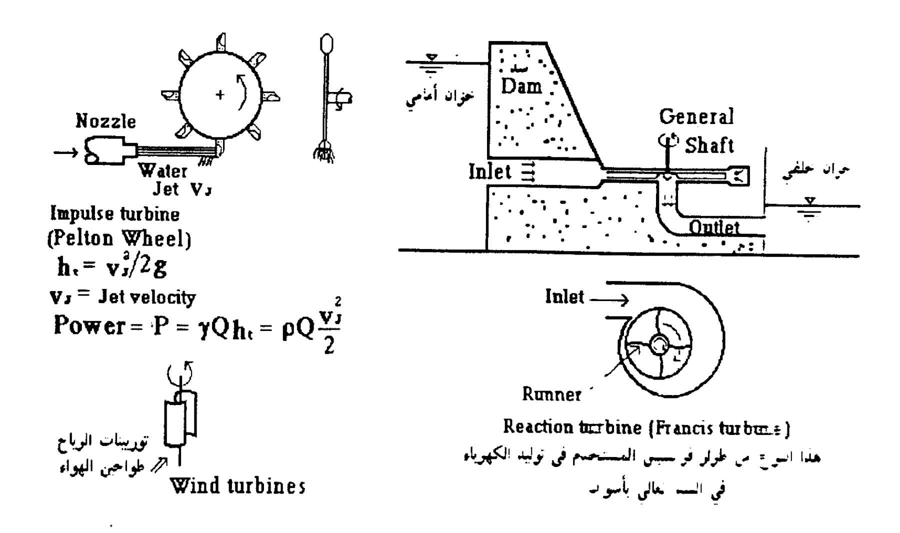
هى الطاقة التى يصاحبها حركة أو دوران لأجزاء من الآلة وعادة يمكن نقل هذه القدرة. والغرض من الآلات الهيدروليكية هو تحويل الطاقة أما من طاقة ميكانيكية الى طاقة هيدروليكية أو العكس. وتقسم الآلات الهيدروليكية الى مجموعتين حسب اتجاه تحويل الطاقة. فالآلات الهيدروليكية التى تحول الطاقة الهيدروليكيه الى طاقة ميكانيكية بحيث تخرج على شكل دوران لعمود أو جزء متحرك فى آلة تسمى توربينات *Turbines*، وتكون معادلة برنولى على الصورة الآتية:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_t + h_{Losses}$$

حيث:

h_t : هى الطاقه التى تتسلمها التوربينة *energy absorbed*.

ويوجد نوعان من التوربينات أحدهما توربينات رد الفعل *reaction* والثانى توربينات تصادمية *impulse* وسوف نأخذ فكرة مبسطة عن نظرية عمل كل منها.



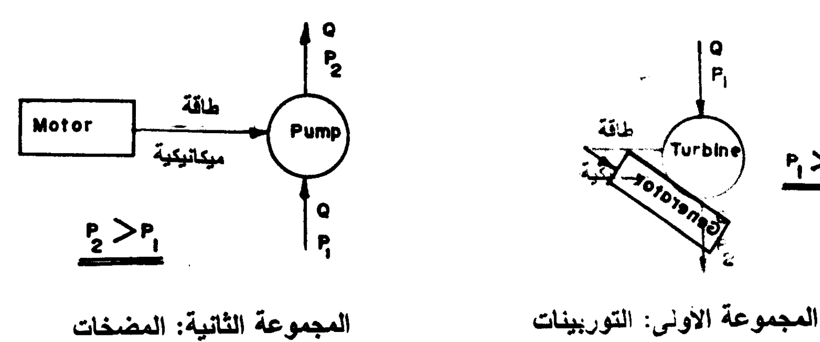
أما المجموعة الثانية من الآلات الهيدروليكية فهى التى تقوم بتحويل الطاقة الميكانيكية الى طاقة هيدروليكية بحيث تخرج على هيئة مائع متحرك وتسمى مضخات *Pumps* أو مراوح *Fans* أو مكابس *Compressors*. وتأخذ معادلة برنولى الصورة الاتية:

$$Z_1+\frac{P_1}{\gamma_1}+\frac{v_1^2}{2g}+h_p=Z_2+\frac{P_2}{\gamma}+\frac{v_2^2}{2g}+h_{Losses}$$

حيث:

h_p : هى الطاقة التى تضيفها المضخة لوحدة الوزن .

ولهذا ففى المجموعة الأولى يبذل المائع شغل وتستخلص الطاقة منه بينما فى المجموعة الثانية يكون الشغل مبذول على المائع وتضاف إليه طاقة.

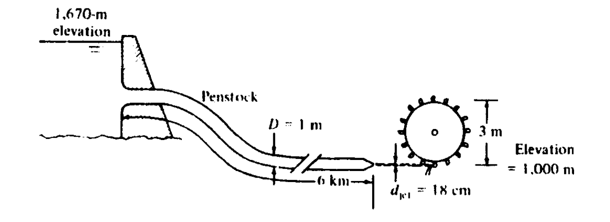


المجموعة الأولى: التوربينات

المجموعة الثانية: المضخات

مثال على التوربينات الدفعية:

احسب القدرة بالكيلووات التى تنتجها عملية توربينية دفعية impulse turbine كما هو مبين بالشكل إذا كانت كفاءة التوربينة ٨٥٪ على فرض أن معامل الإحتكاك لخط تغذية التوربينة Penstock هو $f = 0.015$ وأن الفاقد فى الضاغط لنفث المياه (الباشبورى) يساوى صفراً. احسب السرعة الزاوية لعجلة التوربينة مفترضاً الحالة المثالية التى فيها $(V_j = 2V_{bucket})$. احسب كذلك عزم الدوران الناتج على عمود التوربينة.



الحل:

أولاً نقوم بإيجاد سرعة نفث المياه V_j قبل بدء إصطدامه بعجلة التوربينة وذلك بتطبيق معادلة برنولى من الخزان إلى الباشبورى كالآتى:

$$Z_1+\frac{P_1}{2g}+\frac{V_1^2}{2g}=Z_2+\frac{P_j}{\gamma}+\frac{V_J^2}{2g}+h_L$$

حيث:

$P_1=0$ $\qquad$ $P_j=0$

$Z_1=1670m$ $\qquad$ $Z_j=1000m$

$\frac{V_1^2}{2g}=0$ $\qquad$ $\gamma=9.8\,kN/m^3$

نحسب سرعة المياه داخل خط التغذية

$$V_{Penstock}=\frac{V_J A_J}{A_{Penstock}}=\frac{\frac{\pi}{4}(18)^2}{\frac{\pi}{4}(100)^2}V_J=0.0324V_J$$

وبتطبيق معادلة دراس لحساب الاحتكاك

$$h_L=\frac{fL}{D}\frac{V^2}{2g}=\frac{0.015\times6000}{1}(0.0324)^2\frac{V_J^2}{2g}$$

$$=0.094\frac{V_J^2}{2g}$$

وبحل معادلة برنولى نحصل على سرعة نفث المياه

$$1670+0+0=1000+0+\frac{V_J^2}{2g}+0.094\frac{V_J^2}{2g}$$

$$V_J=\left(\frac{2\times 9.81\times 670}{1.094}\right)^{\frac{1}{2}}=109.6\,m/s$$

ويتم الحصول على القدرة النظرية للتوربينة P من المعادلة الآتية:

$$P=\gamma Q\frac{V_J^2}{2g}=\frac{\gamma A_J V_J^3}{2g}$$

$$=\frac{9.81(\pi/4)(0.18)^2(109.5)^3}{2\times 9.81}=16760\,kw$$

والقدرة الناتجة عن التوربينة

$$P_{output}=P\times Eff.=16760\times 0.85=14245\,kw$$

ولحساب السرعة المحيطة لعجلة التوربينة عند الحالة المثالية

$$V_J=2V_{bucket}$$

$$V_{bucket}=\frac{V_J}{2}=\frac{1}{2}\times 109.6=54.8\,m/s$$

ولحساب السرعة المحيطية = السرعة الزاوية × نصف القطر

$$r\omega = 54.8\, m/s$$

$$\omega = \frac{54.8\, m/s}{1.5\, m} = 36.53\ rad/s$$

السرعة الدورانية لعجلة التوربينة N

$$N = \frac{60\,\omega}{2\pi} = \frac{60 \times 36.52}{2\pi} = 349\, rpm$$

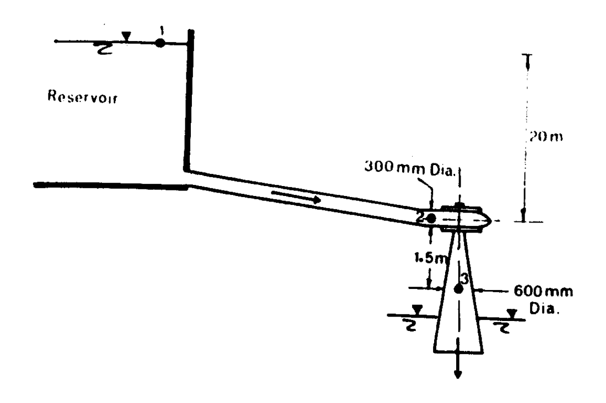
لحساب عزم الدوران T من القدرة الناتجة عن التوربينة

$$Power = T.\omega$$

$$T = \frac{Power}{\omega} = \frac{14245\ kw}{36.53\, rad/s} = 390\, kN.m$$

مثال على توربينات رد الفعل:

يقوم خزان مياه بتغذية توربينة رد فعل Reaction Turbine تحت ضاغط ٢٠ متر كما فى الشكل وعندما تسحب التوربينة تصرف ٥٠٠ لتر/ث يكون الفاقد فى خط أنابيب التغذية ذات القطر ٣٠٠مم هو ٢,٥متر. احسب الضغط عند مدخل التوربينة. وإذا كان الضغط السالب عند نقطة فى خط الطرد تبعد ١,٥ متر أسفل خط السحب هو $30\ kN/m^2$ عند مقطع أنبوبة قطرها ٦٠٠ مم. احسب الطاقة التى تتسلمها التوربينة بالكيلووات مهملاً فواقد الاحتكاك بين المدخل والمخرج للتوربينة. احسب كذلك الطاقة التى تعطيها التوربينة إذا علمت أن كفاءة التوربينة ٨٥٪.



الحل:

بتطبيق معادلة برنولى بين النقطتين ١، ٢

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_L$$

سرعة المياه داخل الخزان تساوى صفراً وكذلك الضغط

$$\frac{P_2}{\gamma} = (Z_1 - Z_2) - \frac{V_2^2}{2g} - h_L$$

$$V_2 = \frac{Q}{A} = \frac{0.5}{\frac{\pi}{4}(0.3)^2} = 7.07\ m/s$$

$$\frac{P_2}{\gamma} = 20 - \frac{(7.07)^2}{2 \times 9.8} - 2.5 = 14.95 m$$

$$P_2 = 14.95 \times 9.81 = 146.95\ kN/m^2$$

$$V_3 = \frac{Q}{A_3} = \frac{0.5}{\frac{\pi}{4}(0.6)^2} = 1.77\ m/s$$

بتطبيق معادلة برنولى بين النقطة ٣،٢

$$Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} = Z_3 + \frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g} + h_t + h_{Loss}$$

$$1.5 + 14.95 + \frac{(7.07)^2}{2 \times 9.81} = 0.0 - \frac{30}{9.8} + \frac{(1.77)^2}{2g} + h_t + 0.0$$

$$h_t = 21.9m$$

القدرة النظرية أو المائية للتوربينة

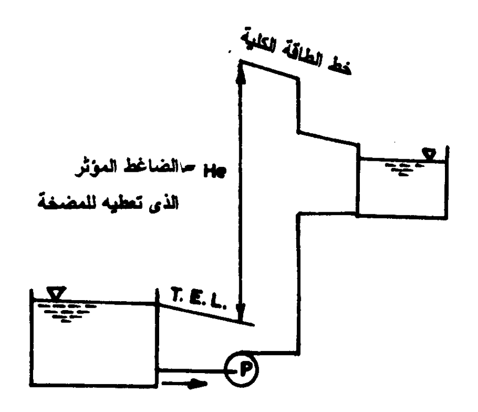
$$P = \gamma Q h_t = 9.8 \times 0.5 \times 21.9$$
$$= 107.42\ kw$$

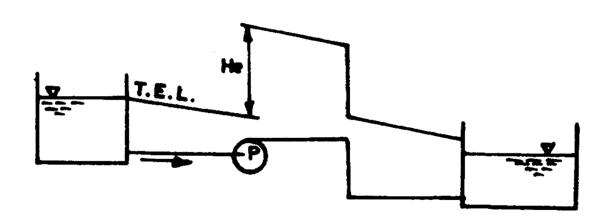
القدرة الناتجة من التوربينة

$$Output\ Power = P \times Eff.$$
$$= 107.42 \times 0.85 = 91.31\ kw$$

المضخات Pumps

تعتبر المضخة (الطلمبة) جهاز لتحويل الطاقة الميكانيكية من مصدر خارجى (محرك متصل بالمضخة) الى طاقة هيدروليكية تعطى للمائع. هذه الطاقة تسبب ارتفاع مفاجئ فى خط الطاقة الكلية و يستخدم هذا الارتفاع اما لرفع السائل من مستوى منخفض الى مستوى أعلى منه أو لزيادة التصرف المار من مستوى مرتفع الى مستوى منخفض كما هو مبين بالشكل (١-٣).





شكل (١-٣): إرتفاع الطاقة الكلية نتيجة وجود المضخة.

وبدراسة القدرة اللازمة لضخ المانع:

$$Power = force \times Velocity$$
$$= (\rho.a) \times \upsilon = P.Q \qquad Q = v.a$$
$$= \gamma H Q$$

at $10^{\circ}c$ $\gamma_{water} = 9.81 kN/m^3$ $\quad \rho_{water} = \frac{\gamma}{g} = \frac{9810 N/m^3}{9.81 m/s^2} = 1000 kg/m^3$

$\rho_{air} = 1.25\ kg/m^3 \qquad \gamma_{air} = \rho \times g = 1.25 \times 9.81 = 12.2 N/m^3$

$Joule(J) = N.m \qquad N = Kg \times m/s^2$

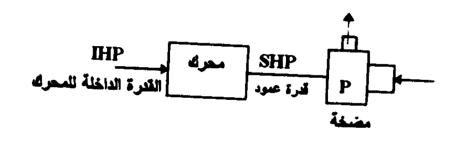
$Power(w) = J/s$

$Pressure\ N/m^2 = Pascal(Pa)$

$P_{atm} = 101 kP_a = 101 KN/m^2$

$P = \gamma h$

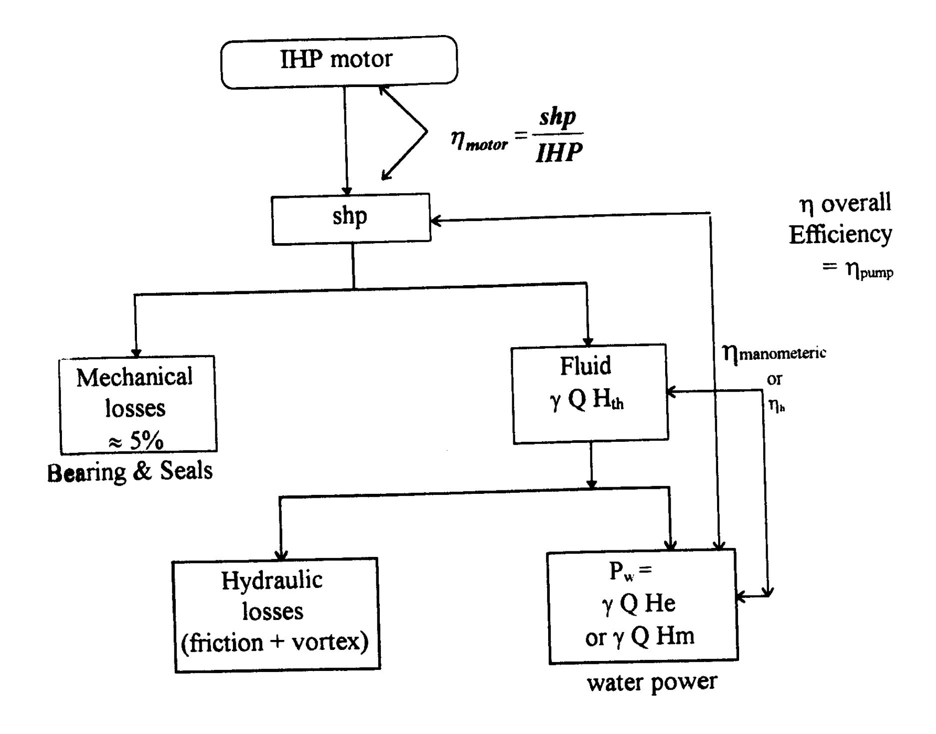
$= (kN/m^3).m = KPa$



$$\eta = \frac{Output}{Input}$$

الكفاءات المختلفة للمضخة:

توضح خريطة المسار التالية الكفاءات المختلفة للمضخة.



وبدراسة الكفاءات المختلفة

١ - الكفاءة الحجمية η_v Volumetric efficiency (96-98%):

$$\eta_v = \frac{Q}{Q + \Delta Q}$$

فاذا كان هنــاك تسـرب بمعـدل ΔQ مـن جـانب الضغـط المرتفـع فـى المضخة الى جانب الضغط المنخفض فانه يوجد فقد طاقة بسـبب الشـغل المبـذول على المائع المتسرب حيث Q تمثل السريان الفعلى المستفاد.

٢ - الكفاءة الهيدروليكيّة η_h Hydraulic Eff (80-96%):

$$\eta_h = \frac{H_e}{H_{th}}$$

فعند دوران دفاعة المضخة يعطي السـائل ضـاغط كلـى نظـرى H_{th} يفقد من هذا الضّاغط جزء داخل الدّفاعة (فواقد هيدروليكيّة مثل الإحتكاك والدوّامـات في مسار السائل) وعند خروج السائل منهـا يسـتفيد السـائل فعـلاً بضـاغط يسـمى الضاغط المؤثر أو المفيد *Effective head* H_e (وهو فرق خطى الطاقة الكليّة قبل وبعـد المضخــة). وقـد يعـبّر عـن هـذه الكفـاءة أيضــاً بالكفـاءة المانومتريّــة *Manometric Eff* η_h حيث :

$$\eta_h = \frac{H_m}{H_{th}}$$

فعند تساوى $H_m = H_e$ تتساوى الكفاءتين ويحدث هذا إذا كـانت مواسـير السحب والطرد متسـاوية فـى القطـر أى أن سـرعة المـائع عنـد السّحب والطـرد

متساوية وبذلك يتساوى الضّاغط المؤثّر مع الضّاغط المانومترى الذى تعطيه المضخّة كما سيبين فيما بعد.

٣- الكفاءة الميكانيكيَّة η_m Mechanical Eff (92-95%):

$$\eta_m = \frac{Shp - fp}{Shp}$$

حيث *shaft horse power shp*

هى القدرة عند عمود الإدارة للمضخة وتساوى $Shp = \varpi . T$

حيث:

ϖ : السرعة الزاوية لدفاعة المضخة أو عمود الدوران *angular velocity*

T : عزم الدوران *Torque*

fp: القدرة المفقودة في الإحتكاك الميكانيكي في كراسي المحور وصناديق الحشو وإحتكاك الدفّاعة، أى بصفة عامة *Mechanical Power Loss*.

٤- الكفاءة الكلية أو الاجمالية η_{Pump} Overall Efficiency (70-80%):

$$\eta_{Pump} = \frac{\gamma Q H_e}{T.\omega} = \frac{\gamma Q H_m}{Shp} = \eta_v . \eta_h . \eta_m$$

و غالبا ما يؤخذ $H_e = H_m$

تحديد الضاغط المانومترى الذى تعطيه المضخة H_m:

يوضح الشكل (١-٤أ) مضخة تدفع سائل من خزان سفلى إلى خزان علوى يرتفع سطح المياه فيه H_{st} عن سطح المياه فى الخزان السفلى (خزان السحب) بتصرف Q. أما الشكل (١-٤ب) فيوضح أيضاً مضخة تدفع سائل من خزان السحب السفلى إلى خزان الطرد العلوى ولكن مستوى المياه فى خزان السحب ينخفض عن مستوى المضخة بمقدار H_{ss}. ويلاحظ أيضاً إنخفاض خط الطاقة نتيجة وجود محبس فى خط الطرد والإختلاف يعنى أن ضاغط السحب الإستاتيكى فى الشكل (١- ٤أ) موجب ولكن ضاغط السحب الإستاتيكى فى الشكل (١-٤ب) سالب.

وبدراسة شكل (١-٤) يمكن إستنتاج العلاقات الآتية:

$$H_{st} = H_{sd} - H_{ss}$$

$$H_{ms} = H_{ss} - H_{ls} - \frac{v_s^2}{2g}$$

$$H_{md} = H_{sd} + H_{ld}$$

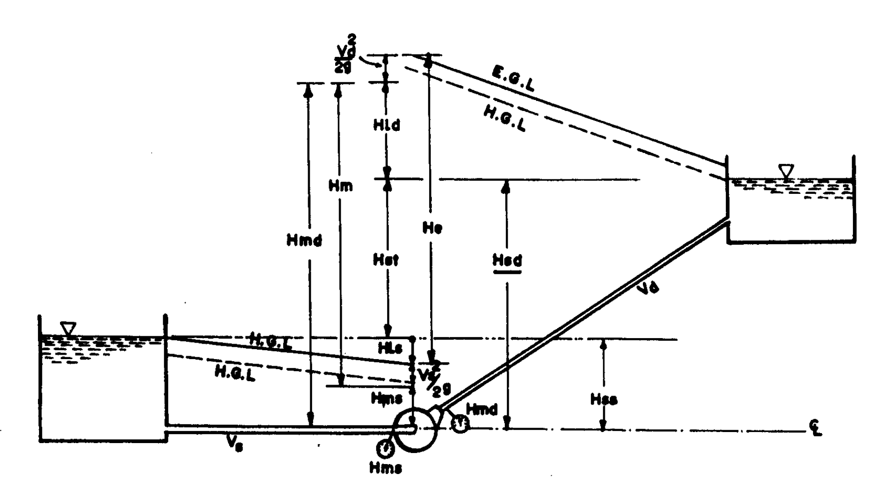
$$H_m = H_{md} - H_{ms}$$

$$H_m = (H_{sd} - H_{ss}) + (H_{ld} + H_{ls}) + \frac{v_s^2}{2g}$$

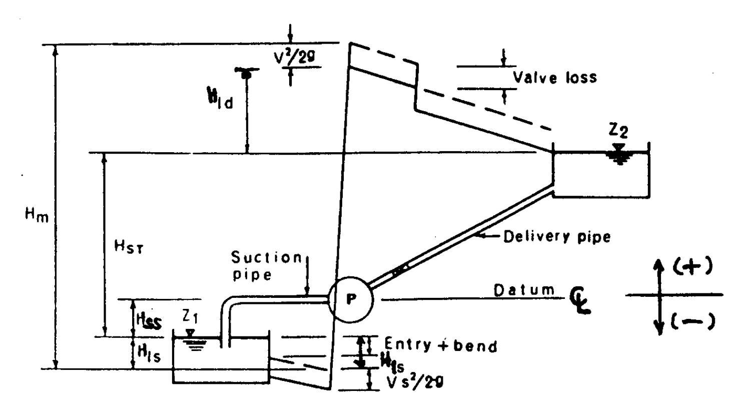
$$H_m = H_{st} + h_L + \frac{v_s^2}{2g}$$

$$H_e = (H_{sd} - H_{ss}) + (H_{ld} + H_{ls}) + \frac{v_d^2}{2g}$$

$$H_e = H_{st} + h_L + \frac{v_d^2}{2g}$$



(أ) مستوى المياه فى خزان السحب يرتفع عن مستوى المضخة



(ب) مستوى المياه فى خزان السحب ينخفض عن مستوى المضخة

شكل (١-٤): خط الطاقة الكلية وخط الميل الهيدروليكى فى حالة وجود مضخة بالخط

ومن هذا يتضح أنه في حالة تساوي قطر السحب والطرد فـإن $v_s = v_d$ وينتج عن ذلك إن $H_e = H_m$ ، فإذا وضع مانومتران أحدهما عند دخول السـائل للمضخة والآخر عند خروجها فإن الضاغط المانومترى المطلوب من المضخـة يساوى H_m.

حيث :

ضاغط السحب الإستاتيكى	H_{ss} = *Suction lift*
ضاغط الطرد الإستاتيكى	H_{sd} =*Delivery lift*
الضـــاغط الإســـتاتيكى الكلـــى H_{st} *head*	=*Total Static*
الفاقد فى خط السحب	H_{ls} = Loss *of head in Suction Pipe*
الفاقد فى الطاقة فى خط الطرد	H_{ld} =*loss of head in Delivery Pipe*
ضاغط السرعة عند السحب	$v_s^2/2g$ =*Velocity head in Suction Pipe*
ضاغط السرعة عند الطرد	$v_d^2/2g$ =*Velocity head in Delivery Pipe*
الضاغط المؤثر	H_e =*Effective head*
الضاغط المانومترى (الرافع)	H_m =*Manometric head*
ضاغط السحب المانومترى	H_{ms} =*Manometric Suction head*
ضاغط الطرد المانومترى	H_{md} =*Manometric Delivery head*

ونلاحظ أنه فى حالة وجود المضخـة فوق مسـتوى السـحب فـإن *Hss* تكون سالبة ولكى ترفع المضخة السائل من مستوى السحب إلى مسـتوى الطـرد يجب أن تتغلب على فرق المسـتوى الموجود (الرفـع الإسـتاتيكي *Hst*) وكذلـك علـى الفواقد الموجودة فـى خـط الأنـابيب. كمـا يجـب أن تعطـى السـائل طاقـة الحركة اللازمة له لكى ينتقل من حالة السكون داخـل خـزان السـحب إلـى حالـة الحركة فى خط الأنابيب.

مثال على إيجاد الضاغط المانومترى للمضخة:

أوجد قراءة كل من مانومترى السحب والطرد وكذلك الضاغط المانومترى للمضخة التالية:

التصرف= ٦٠لتر/ث، الضاغط الأستاتيكى = ٣٦ متر، ضاغط السحب الأستاتيكى= -٤ متر، قطر كل من أنبوبتى السحب والطرد = ١٥سم، طول أنبوبة السحب= ٨ متر، طول أنبوبة الطرد = ٥٠ متر، معادلة الاحتكاك = ٠,٠٤

الحل:

$$V=\frac{Q}{A}=\frac{60\times 1000}{\frac{\pi}{4}\times(15)^2}=339.53\ cm/s$$

$$\frac{V^2}{2g}=\frac{339.53^2}{2\times 980}=58.817\,cm$$

$$H_f=f\frac{L}{d}\frac{V^2}{2g}=0.04\frac{L}{0.15}\times 0.588$$
$$=0.1568\,L$$

$$H_{ms}=H_{ss}-H_{ls}-\frac{V_s^2}{2g}$$
$$=-4-(0.1568\times 8+0.5\times 0.588)-0.588$$
$$=-(4+1.2544+0.882)=-6.1364\,m$$

$$H_{st}=H_{sd}-H_{ss}$$
$$36=H_{sd}-(-4)$$
$$H_{sd}=36-4=32\,m$$

$$H_{md}=H_{sd}+H_{ld}$$
$$=32+0.1568\times 50=39.84\,m$$

$$H_m=H_{md}-H_{ms}$$
$$=39.84-(-6.1364)=45.9764\,m$$

إذا كان المطلوب حساب قدرة المحرك اللازم لإدارة المضخة فيحسب كالآتى على فرض أن كفاءة المضخة ٧٤٪ وكفاءة المحرك ٨٣٪

$$HP=\frac{60\times 45.976}{75\times 0.74\times 0.83}=60\,hp$$

مثال على تأثير المضخة المساعدة فى خط الأنابيب

Effect of booster pump in pipeline

تسرى مياه تحت تأثير الجاذبية من الخزان أ إلى الخزان ب ولزيادة التصرف تستخدم مضخة مساعدة booster pump كما فى الشكل وكان قطر خط الأنابيب ٢٠٠مم ويرتفع مستوى المياه فى الخزان أ ٤٠متر عن مستوى المياه فى الخزان ب وكان التصرف ٥٠ لتر /ث وطول خط الأنابيب ٥٠٠٠ متر وخشونة سطح الأنابيب ٠,٠٣ مم أوجد الضاغط المانومترى الذى تعطيه المضخة وكذلك القدرة المائية المطلوبة.

الحل:

$L=5000\,m$ $\quad D=200\,mm$ $\quad e=0.03mm$

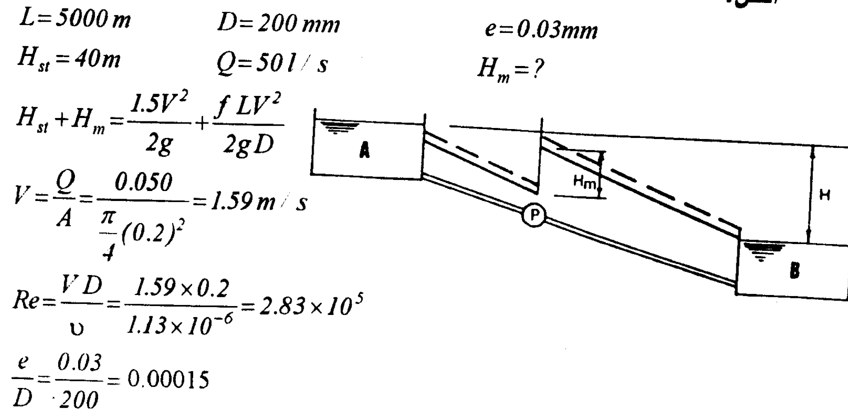
$H_{st}=40m$ $\quad Q=50\,l/s$ $\quad H_m=?$

$$H_{st}+H_m=\frac{1.5V^2}{2g}+\frac{f\,LV^2}{2gD}$$

$$V=\frac{Q}{A}=\frac{0.050}{\frac{\pi}{4}(0.2)^2}=1.59\,m/s$$

$$Re=\frac{VD}{\upsilon}=\frac{1.59\times 0.2}{1.13\times 10^{-6}}=2.83\times 10^5$$

$$\frac{e}{D}=\frac{0.03}{200}=0.00015$$



بالكشف فى خريطة مودى نجد

$$f = 0.0162 \qquad \text{from Moody chart}$$

$$H_{st} + H_m = \frac{1.5(1.59)^2}{2 \times 9.81} + \frac{0.0162 \times 5000(1.59)^2}{2 \times 9.81 \times 0.2}$$

$$= 0.193 + 52.179 = 52.48 m$$

$$H_m = 52.48 - 40 = 12.48 \, m$$

القدرة المائية أو الهيدروليكية المطلوبة

$$Hydraulic\ Power\ delivered = \gamma \, Q H_m$$

$$= 9.81 \times 0.05 \times 12.48$$

$$= 6.12 \, kw$$

١ – ٤ – أنواع المضخات Types of Pumps

توجد أنواع عديدة من المضخات تناسب أعمال الضخ المختلفة. وعموماً تنقسم المضخات إلى نوعين أساسيين هما مضخات الضغط الديناميكى ومضخات الإزاحة الإيجابية فمضخات الإزاحة الإيجابية تناسب أعمال الضخ التى تتطلب ضغط مرتفع وبتصرف قليل نسبياً ولايمكن تخفيض تصرفها عن طريق محبس الطرد وذلك لأنها تقوم بسحب حجم معين من جهة السحب لتطرده جهة الطرد أما المضخات الديناميكية فهى تناسب مختلف أعمال الضخ ويمكن تخفيض تصرفها عن طريق محبس الطرد وذلك لأن أساس عملها هو دوران مروحة داخل المائع أى تقوم بعملية تقليب للمائع فإذا تم إغلاق محبس الطرد فإن المروحة تقوم بتقليب المائع مما ينتج عنه إرتفاع فى درجة حرارته فقط. وهذا النوع من المضخات تحصل منه على تصرف مرتفع نسبياً بالنسبة لتصرف المضخات الإيجابية ولكن تحت ضغط يقل عن الضغط الذى تحصل عليه من المضخات الإيجابية. وتوجد أنواع عديدة من المضخات ولكننا سوف نتعرض للمضخات الأكثر شيوعا وهى:

١ - مضخات الضغط الديناميكى Rotodynamic

ويحدث فيها تحول بين طاقة الوضع و طاقة الحركة، كما يجرى فيها تحول للطاقة الميكانيكية إلى طاقة هيدروليكية ومنها الأنواع الآتية:-

أ- المضخات الطاردة المركزية Centrifugal Pump

وفيها يخرج السريان من مروحة المضخة فى اتجاه نصف قطرى *Radial* إلى خارج المروحة وعموديا على اتجاه محور المروحه.

ب- المضخات المحورية او المروحية Axial-Flow (Propeller) pumps

وتسمى أيضا بالمضخات ذات السريان المحورى و كما هو واضح من إسمها يخرج السريان من مروحة المضخة فى إتجاة موازى لمحور المروحة.

جـ- المضخات ذات السريان المختلط Mixed-flow pumps

وفيها تكون السرعات عند مخرج المروحة لها مركبتين أحدهما فى إتجاه محور المروحة والأخرى فى إتجاه عمودى عليه.

٢- مضخات الإزاحة الإيجابية Positive Displacement Pumps

أ- المضخات الترددية Reciprocating Pumps

حيث يسحب المكبس المتحرك المياه إلى أسطوانة فى مشوار و فى المشوار التالى يضخها من الأسطوانة إلى الخارج ومنها المضخة الماصة الكابسة ومضخة الغشاء المرن.

ب- المضخات الدورانية Rotary Pumps

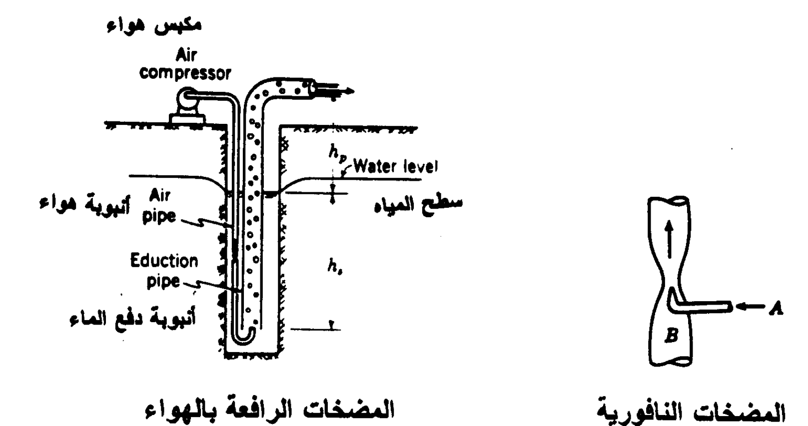
وفيها تكون حركة أجزاء المضخة حركة دورانية ومنها المضخة الترسية *Gear Pump* ومضخة الريش *Vane Pump*.

بالإضافة إلى النوعين السابقين توجد أنواع أخرى من المضخات اللاميكانيكية (شكل ١-٥) تعمل بواسطة مائع آخر نذكر منها على سبيل المثال:-

١- المضخات الرافعة بالهواء *Air - Lift Pumps*

٢- المضخات النافورية *Jet Pumps*

وفى النوع الأول من المضخات وهو المضخات ذات الضغط الديناميكى تزداد الطاقة الهيدروليكية للسائل نتيجة ديناميكية الحركة لأجزاء المضخة بينما فى النوع الثانى يتم ملأ فراغ معين داخل المضخة ثم تفريغه وهكذا. وحسب نظرية تشغيل كل نوع نجد أنه فى مضخات الضغط الديناميكى يمكن إغلاق محبس على ماسورة الطرد أثناء دوران المضخة دون أن تحدث أى أضرار للمضخة ويكون التصرف المار فى المضخة يساوى صفرا نتيجة إغلاق المحبس بالكامل.



المضخات الرافعة بالهواء المضخات النافورية

شكل (١-٥): المضخات اللاميكانيكية

بينما فى المضخات الإيجابية فإنها عند الدوران بسرعة ثابتة تعطى تصرف ثابت مهما كانت فتحة المحبس الجزئية. وإذا أغلق المحبس على ماسورة الطرد بالكامل فإن ذلك يؤدى إما إلى كسر فى المضخة فى أضعف جزء منها أو إحتراق موتور تشغيل المضخة ولذلك نجد أن كثير من المضخات الإيجابية المنتجة حديثا تزود بمحبس أمان داخلى يفتح إذا زاد الضغط عن حد معين بحيث يمر السائل من جهة الطرد إلى جهة السحب مرة أخرى فى دائرة مغلقة للمحافظة على المضخة والمحرك.



الباب الثانى

المضخات الديناميكية

الباب الثانى

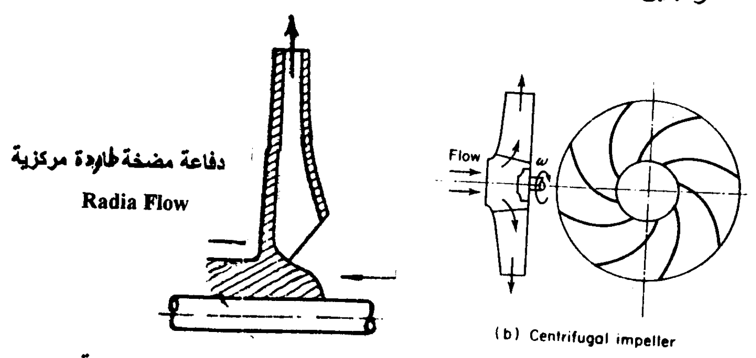
المضخات الديناميكية

تزداد الطاقة الهيدروليكية للسائل نتيجة ديناميكية الحركة لدفاعة المضخة حيث أن الجزء المتحرك يسمى بالدفاعة أو المروحة *impeller* ويتم من خلالها السريان واتجاه السريان بالنسبة لمستوى دوران المروحة يحدد نوع المضخة أى يمكن تقسيم المضخات الديناميكية *Rotodynamic* حسب إتجاه السريان فيها إلى:-

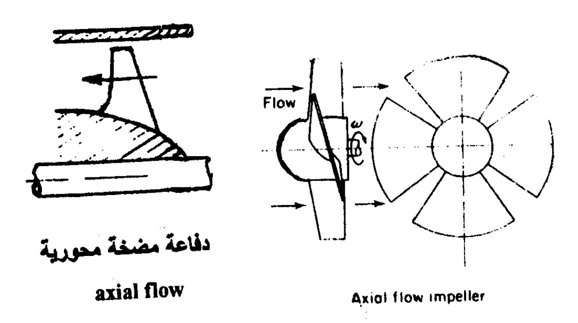
أ- **مضخات طاردة مركزية (شكل ٢-١)**: و فيها يدخل السائل من فتحة فى منتصف المضخة أو مركزها و يمر نتيجة القوة الطاردة المركزية إلى المحيط الخارجى فى إتجاه نصف القطر.

ب- **مضخات محورية (مروحية) (شكل ٢-٢)**:- و فيها يمر السائل فى المضخة فى إتجاه محورها.

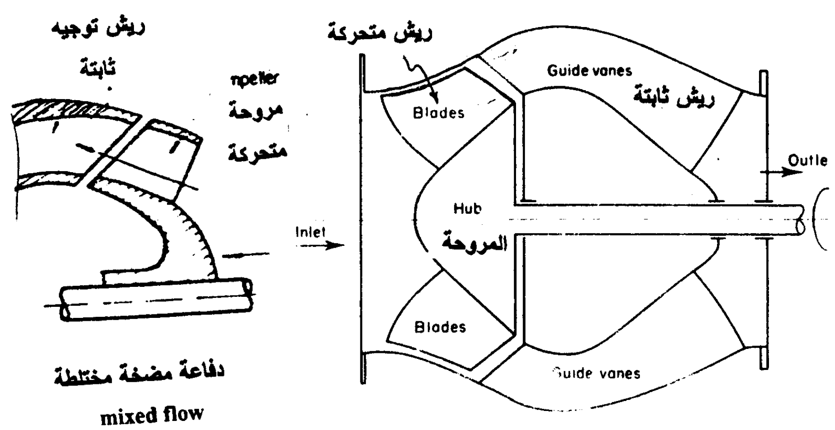
جـ- **مضخات مختلطة (شكل ٢-٣)**:- وفيها يكون السريان عند مخرج المروحة له مركبتين أحدهما فى إتجاه محور المروحة والآخر فى إتجاه نصف القطر.



شكل (٢-١): إتجاه السريان فى المضخات الطاردة المركزية



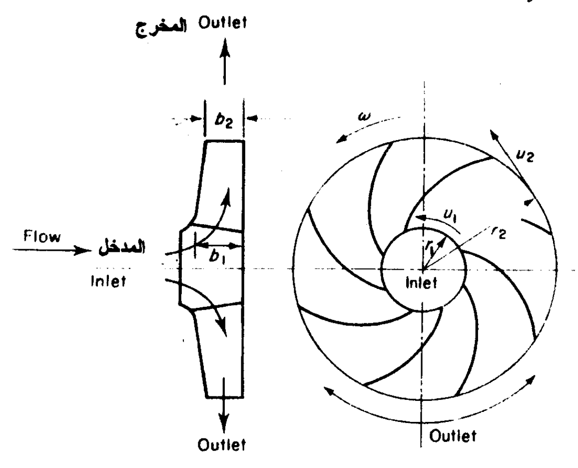
شكل (٢-٢): إتجاه السريان فى المضخات المحورية



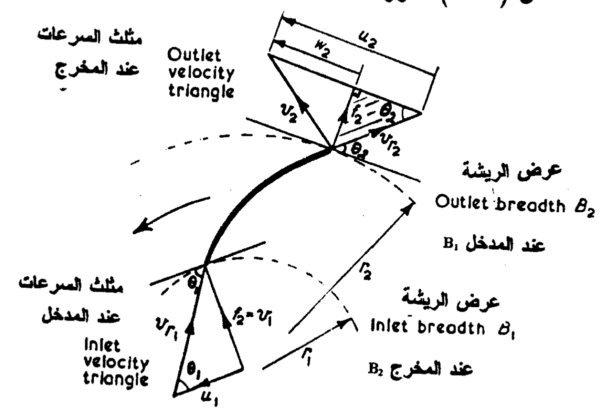
شكل (٢-٣): إتجاه السريان فى المضخات المختلطة

٢-١- مثلث السرعات:

لشرح نظرية عمل المضخات الديناميكية يوضح شكل (٢-٤) مروحة مضخة طاردة مركزية مبين عليها إتجاه السريان كما يوضح شكل (٢-٥) مثلث السرعات Velocity Triangle عند المدخل والمخرج من ريشة المروحة.



شكل (٢-٤): مروحة مضخة طاردة مركزية



شكل (٢-٥): مثلثات السرعات عند المدخل والمخرج

باعتبار المثلث المظلل

$$\tan\theta_2 = \frac{f_2}{U_2 - W_2} \quad or \quad \cot\theta_2 = \frac{U_2 - W_2}{f_2}$$

$$f_2 . \cot\theta_2 = U_2 - W_2$$

$$\therefore W_2 = U_2 - f_2 . \cot\theta_2$$

$$U_2 = \varpi r_2 = \frac{\pi D_2 N}{60}$$

Discharge = Peripheral area x radial velocity

$$Q = 2\pi r_1 B_1 f_1 = 2\pi r_2 B_2 f_2$$

حيث أن ω = السرعة الزاوية للمروحة

$$U_1 = \omega r_1 \quad \& \quad U_2 = \omega r_2$$

حيث أن u هى السرعة المحيطية أو سرعة حافة الريشة

وحيث أن القدرة $\quad Power = T.\omega = \gamma\, Q\, H_{th}$

وحيث أن عزم الدوران = القوة × ذراع الدوران $\quad T = F.r$

حيث أن $\quad (F = m\dfrac{d_v}{d_t} = \rho QV) \quad = (\rho QW).r$

$$so\ Torque\ transmitted = \rho\, Q(w_2 r_2 - w_1 r_1)$$

$$\therefore Power = \gamma Q H_{th} = T.\omega$$

$$= \rho Q(W_2 . r_2 - W_1 . r_1).\omega$$

بالتعويض $\quad but\ \omega = \dfrac{u}{r} \quad so\ that\ \ \omega r_2 = u_2 \quad and \quad \omega r_1 = u_1$

$$\gamma\, Q H_{th} = \rho\, Q(W_2 . U_2 - W_1 . U_1)$$

وتنتج من ذلك معادلة أويلر للمضخات *Euler's Pump equation*:

$$\left[H_{th} = \frac{W_2 \cdot U_2}{g} - \frac{W_1 \cdot U_1}{g} \right]$$

إذا ما صنعت الريشة بحيث تأخذ زاوية المدخل θ_1 هذه القيمة التي تجعل السرعة المطلقة للمياه عند المدخل v_1 في إتجاه نصف قطري أي تمر بالمركز وهذا هو المتبع عادة، في هذه الحالة تكون

$$f_1 = v_1 \quad \& \quad W_1 = 0$$

ويؤول قانون أويلر للمضخات إلى

$$\left[H_{th} = \frac{W_2 \cdot U_2}{g} \right]$$

وبذلك تكون الكفاءة الكلية للمضخة

$$\eta = \frac{Out\,put}{Input} = \frac{\gamma Q\, H_m}{Shp}$$

وتكون الكفاءة الهيدروليكية أو المانومترية

$$Manometric\ efficiency\ = \eta_h = \frac{H_m}{H_{th}} = \frac{H_m}{U_2 \cdot W_2 / g}$$

حيث

ω = السرعة الزاوية للمروحة $rad./s$

U = سرعات حافة الريشة أو السرعة المحيطية .

D_2, D_1 = قطري المروحة عند مدخلها وعند مخرجها.

Vr_1, Vr_2 = سرعات المياه بالنسبه للريشة .

v_2, v_1 = السرعات المطلقة للمياه **absolute velocity**.

f_2, f_1 = سرعتى السريان العموديتين على مقطعي السريان عند المدخل للمروحة وعند المخرج.

W_2, W_1 = سرعتي الدوران للمياه عند المدخل وعند المخرج .

θ_2, θ_1 = زاوية المدخل والمخرج للريشة .

٢-٢- السرعة النوعية Specific Speed (N_s) :-

عادة يستخدم مؤشر يبين نوع المضخة و هو السرعة النوعية. وتعرف السرعة النوعية (N_s) لمضخة معينة بأنها السرعة التى تدور بها مضخة مشابهة هندسيا لهذه المضخة وأبعادها هى تلك التى تجعلها ترفع تصرف مقداره الوحدة بضاغط مقداره الوحدة.

وقد تعرف أيضا بأنها سرعة المضخة باللفة / دقيقة والتى إذا دارت بها عند تخفيض حجمها فأنها تضخ ١ جالون / دقيقة عند ضاغط كلى مقداره ١ قدم ولذلك فهى أهم خاصية للمضخة تعطى بدلالتها جميع المتغيرات الأخرى مثل منحنيات الآداء و شكل المروحة. بحيث أن أى مضختين لهما نفس قيمة السرعة النوعية تكونان متشابهتان بصرف النظر عن حجمهما ويكون لهما نفس شكل المنحنيات اللأداء بصرف النظر عن القيمة.

$$N_s = \frac{N\sqrt{Q}}{H^{3/4}}$$

السرعة النوعية لمضخة معينة تحدد من قيم (Q) ، (H) التى تناظر أقصى كفاءة لسرعة دوران معينة (N) وتمثل أيضا القيم عند مرحلة واحدة من المضخات متعددة المراحل.

وحيث أن السرعة النوعية تعبر عن نوع المضخة فإن المضخة ذات السرعة النوعية الصغيرة مناسبة لرفع تصرفات صغيرة بضاغط كبير، أما الطلمبات ذات السرعة النوعية الكبيرة فإنها تناسب رفع التصرفات الكبيرة بضغط صغير كما هو موضح من معادلة السرعة النوعية فإن السرعة النوعية (N_s) لها

مقياس وتعتمد قيمتها على الوحدات المستخدمه للتعبير عن كل عنصر عناصر الطرف الأيمن وغالبا ما يؤخذ النظام الإنجليزى للسرعه النوعيه فى تقسيم المضخات حسب قيمة السرعة النوعية.

$$N_{s(English)} = \frac{rpm\sqrt{gpm}}{ft^{3/4}}$$

حيث:

N : لفة/دقيقة rpm.

Q : التصرف بالجالون فى الدقيقة gpm.

H : الرافع أو الضاغط الذى تعطية المضخة بالقدم ft.

أما فى النظام المترى فيعبر عن السرعة النوعية

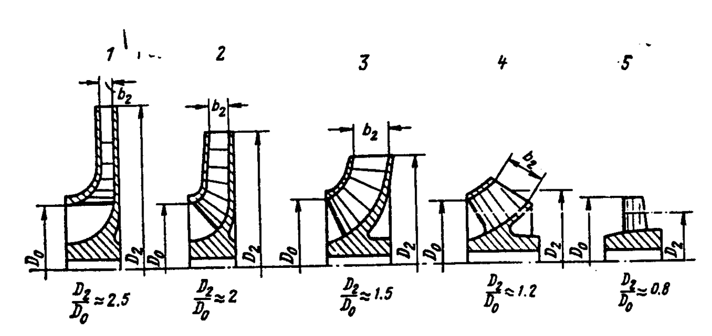
$$N_s(Metric) = \frac{rpm\sqrt{m^3/s}}{m^{3/4}}$$

وتستخدم العلاقات الآتية عند استخدام النظام المترى للحصول على قيمة السرعة النوعية فى النظام الإنجليزى حيث أن قيمة السرعة النوعية فى النظام الإنجليزى هى الأساس فى تقسيم المضخات.

$$\frac{rpm\sqrt{gpm}}{ft^{3/4}} = 51.64\frac{rpm\sqrt{m^3/s}}{m^{3/4}} = 1.633\frac{\sqrt{l/s}}{m^{3/4}}$$

تقسيم المضخات حسب قيمة السرعة النوعية كما يلى حسب الوحدات المستخدمة:

نوع المضخة	$\frac{rpm\sqrt{gpm}}{ft^{3/4}}$	$\frac{rpm\sqrt{m^3/s}}{m^{3/4}}$	$\frac{rpm\sqrt{l/s}}{m^{3/4}}$
مضخات ذات سريان قطرى (تصرف منخفض ورافع مرتفع)	٥٠٠ – ٣٥٠٠	١٠ – ٧٠	٣٠٠ – ٢١٠٠
مضخات مختلطة (تصرف ورافع وسط)	٣٥٠٠–٧٥٠٠	٧٠ – ١٥٠	٢١٠٠–٤٥٠٠
مضخات محورية (تصرف مرتفع ورافع منخفض)	٧٥٠٠–١٢٠٠٠	١٥٠ – ٢٥٠	٤٥٠٠–٧٥٠٠



شكل (٢-٦): التصميمات المختلفة للمراوح حسب السرعة النوعية

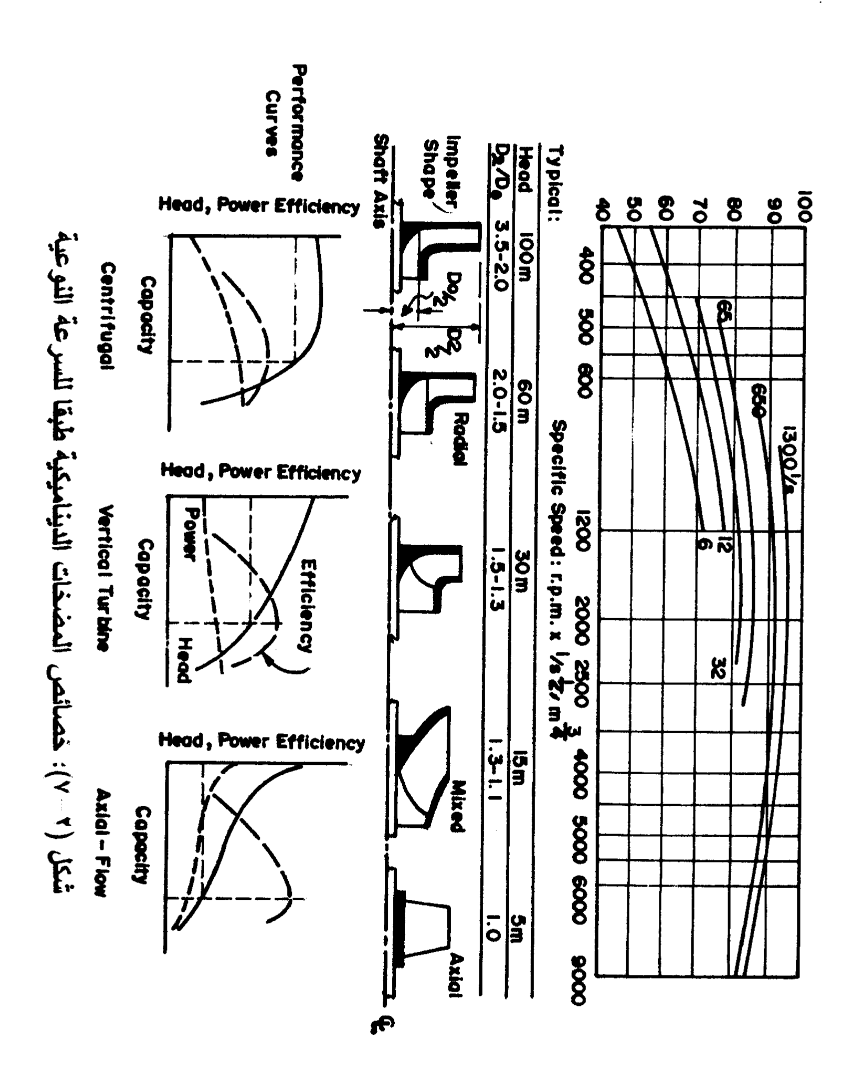
يتضح من الشكل (٢-٦) أنه كلما زادت النسبة بين فتحة الخروج B_2 وقطر المروحة D_2 زاد التصرف و قل الضغط الذى تعطيه المضخة والعكس بالعكس. وكلما قلت النسبة بين قطر المروحة D_2 وقطر فتحة الدخول D_0 زاد التصرف وقل الضاغط الذى تعطيه المضخة والعكس بالعكس.

يوضح شكل (٢-٧) تأثير السرعة النوعية على كفاءة المضخات المختلفة فعند التصرفات المرتفعة لايمكن الحصول على كفاءة عالية من المضخات ذات السريان المحورى ذات السرعة النوعية المرتفعة. ويتضح أيضاً من الشكل أن المضخات الطاردة المركزية ذات السرعة النوعية المنخفضة يمكن الحصول منها على ضغط مرتفع ولكن تحت تصرف منخفض وأيضاً وأيضاً نجد أنه فى السريان القطرى نسبة قطر المروحة D_2 إلى قطر فتحة الدخول D_0 تزيد عن ١,٥ لتصل إلى ٣,٥ بينما فى المضخات ذات السريان المحورى تقل لتصل إلى ١ أو ٠,٨ بينما يقل الضاغط ليصل إلى ٥ متر. ويوضح شكل (٢-٧) أيضا العلاقة بين التصرف والضغط والكفاءة والقدرة المستهلكة وذلك المضخات القطرية والمختلفة والمحورية فى المضخات ذات السريان القطرى نجد أنه بزيادة التصرف عند نقطة تصميم المضخة (أعلى كفاءة) يقل الضغط وأيضاً الكفاءة وتزيد القدرة المستهلكة وهذه النقطة فى منتهى الأهمية وسبب زيادة القدرة المستهلكة هو أنه بزيادة التصرف بنسبة ٢٥٪ مثلاً يقل الضغط بنسبة ١٠٪ وتقل الكفاءة بنسبة ١٠٪ أيضاً وحيث أن القدرة المستهلكة عبارة عن حاصل ضرب التصرف فى الضغط والقسم على الكفاءة نجد أن القدرة المستهلكة تزيد بمقدار ٢٥٪ وكما سبق فأنه فى كثير من التطبيقات العملية نجد أن كثير من المزارعين يقومون بزيادة التصرف وذلك بالتوسع فى استخدام المياه إما بتركيب عدد أكبر

من الرشاشات أو فتح عدد كبير من المحابس فى نفس الوقت ثم يبدأ المزارعون فى الشكوى من انخفاض الضغط والكفاءة وزيادة استهلاك الطاقة وأيضاً سخونة المحرك لعدم قدرته إلى إعطاء الطاقة المطلوبة.

فعند زيادة القدرة اللازمة لإدارة المضخة يزداد التيار الكهربى المار وذلك لأن القدرة الكهربية عبارة عن حاصل ضرب فرق الجهد فى شدة التيار وحيث أن فرق الجهد ثابت فإنه بزيادة القدرة يبدأ المحرك فى سحب تيار أو أمبير أكبر من إستهلاكه التصميمى لمواجهة هذه الزيادة فى القدرة وبالتالى تحدث السخونة فى المحرك والكابلات الموصلة للتيار الكهربى. وهكذا نتيجة لزيادة الحمل مرة واحدة على المضخة لفترة زمنية طويلة تبدأ مادة العزل فى الإنصهار وأحتراق الملفات وبالتالى إنهيار المحرك تماماً.

على عكس الحال فى المضخات المحورية التى يقل فيها الضغط بزيادة التصرف وأيضاً تقل الكفاءة وعلى ذلك تقل أيضاً القدرة المستهلكة ويتم الإستفادة من هذه العملية فى فتح محبس الطرد فى بداية تشغيل المضخات المحورية للحصول على أقل قدرة مطلوبة عند بداية التشغيل.



شكل (٢ - ٧): خصائص المضخات الديناميكية طبقا للسرعة النوعية

مثال:

قطر المروحة في مضخة طاردة مركزية ١,٢متر وسرعة المروحة المحيطيه ٩م/ث وسرعة خروج المياه ١,٥م/ث، زاوية المخرج للريش ٣٠درجة على المحيط، وتصرف المضخة ٣,٤ م٣/د . فكم يكون عزم الدوران لعمود المروحة.

الحل

$$T = \rho Q W_2 r_2$$
$$W_2 = U_2 - f_2 \cot\theta_2$$
$$U_2 = 9 m/s \quad , \quad f_2 = 1.5 m/s \quad , \quad \theta_2 = 30^\circ$$
$$W_2 = 9 - 1.5\sqrt{3} = 6.4 m/s$$
$$\rho = 1000 kg/m^3 \ , \ Q = \frac{3.4}{60} m^3/s \quad , \quad r_2 = 0.6 m$$
$$Torque \ on \ Shaft = 1000 \times \frac{3.4}{60} \times 6.4 \times 0.6$$
$$= 217 N.m$$

مثال:

قطر المروحة في مضخة طاردة مركزية ١,٠متر وعرض ريشة المروحة عند المخرج ١٥مم. وكان عدد الريش ١٦ ومنحنية للخلف بزاوية ٢٥درجة على المماس للمحيط، وكان التصرف خلال الريش ٨,٥ م٣/س عندما تدور بسرعة ٧٥٠لفة/دقيقة، أحسب الضاغط النظرى الذى تعطيه المضخة.

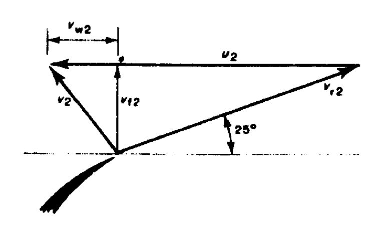
الحل

$$\text{Area at outlet},\ A = \pi D_2 B_2 = \pi \times 0.1 \times 15 \times 10^{-3} = 4.71 \times 10^{-3} m^2$$

$$\text{Velocity of flow at outlet},\ f_2 = \frac{Q}{A} = \frac{8.5 \times 10^3}{3600 \times 4.71} = 0.501 m/s$$

$$\text{Blade Velocity at outlet},\ U_2 = \frac{\pi D_2 N}{60} = \frac{\pi \times 750 \times 0.1}{60} = 3.927 m/s$$

From the outlet velocity triangle



$$\tan 25° = \frac{f_2}{U_2 - W_2}$$

$$W_2 = U_2 - f_2 \cot \theta_2$$

$$3.97 - 0.501 \cot 25°$$

$$2.85 m/s$$

The theoretical head is given by Euler's equation

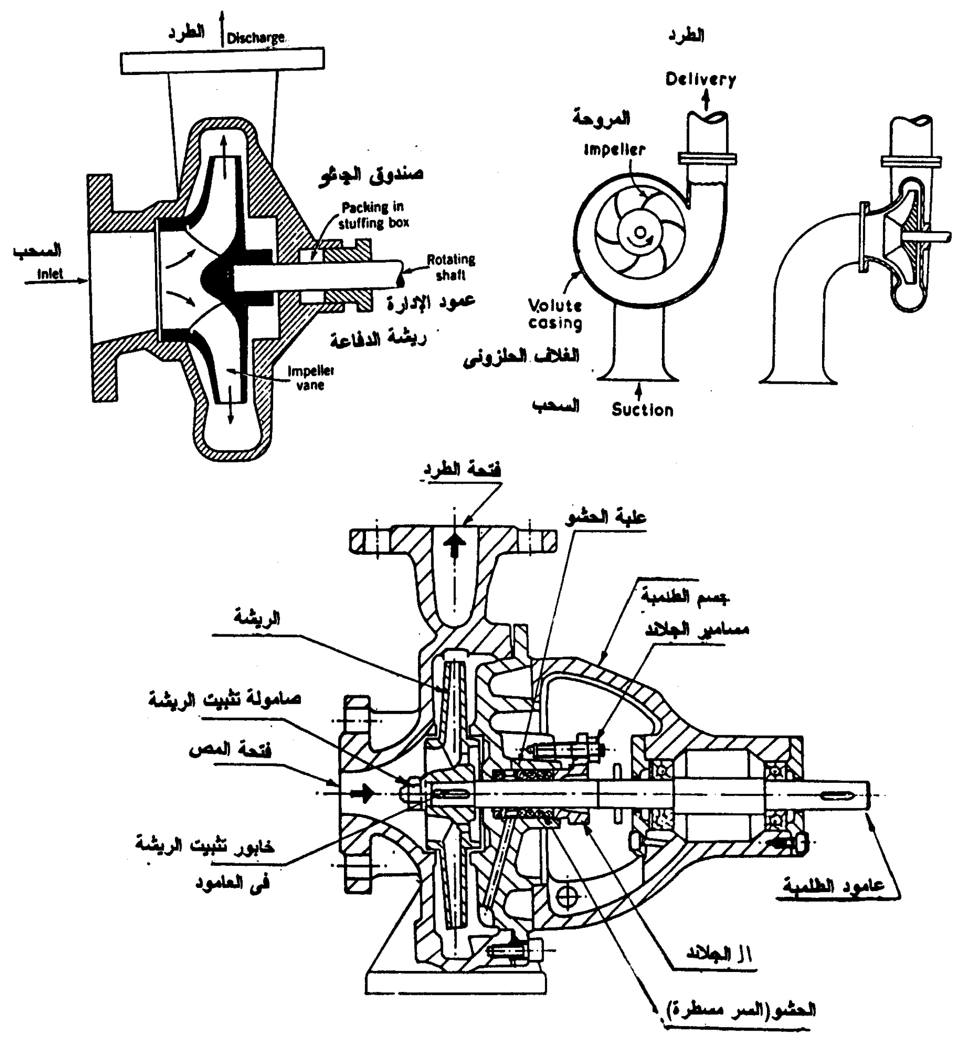
$$H_{th} = \frac{U_2 W_2}{g} = \frac{3.927 \times 2.85}{9.81} = 1.17 m \text{ of water}$$

٢-٣- المضخات الطاردة المركزية Centrifugal Pumps

سميت المضخة الطاردة المركزية بهذا الإسم لأن الزيادة فى الضغط بداخل المروحة تكون نتيجة القوة الطاردة المركزية.

٢-٣-١- الوصف الداخلى للمضخة:

تتكون المضخة أساسا من مروحة دواره *impeller* تحمل عدد من الريش المنحنية للخلف *vanes* وتدور داخل غلاف ثابت *casing* كما هو مبين بالشكل رقم (٢-٨).



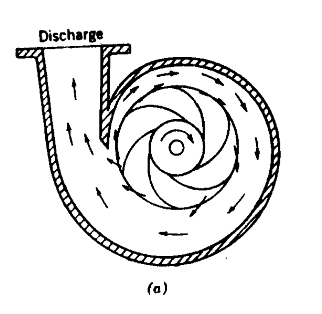
شكل (٢-٨): التركيب الداخلى للمضخة الطاردة المركزية

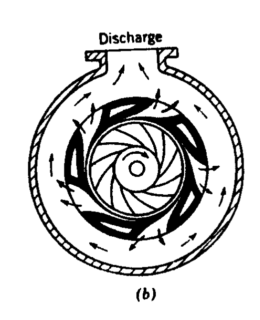
ويدخل السائل المضخة من مركزها وتبذل المروحة الدوارة شغل على السائل فيمر بالطرد المركزى ناحية الخارج وبذلك يترك السائل الدفاعة بزيادة فى كل من السرعة والضغط وأثناء مرور السائل فى الغلاف نحو أنبوبة الطرد يتحول جزء من طاقة السرعة للسائل إلى طاقة ضغط.

ويتصل بالمروحة الدوارة عمود المحرك لإعطائها الحركة الدورانية. ويمر عمود الإدارة من فتحة فى الغلاف تزود بحشو أو مانع تسرب ميكانيكى لمنع تسرب السائل إلى خارج المضخة.

٢-٣-٢- أنواع غلاف المضخة:

والغلاف الخارجى الثابت *casing* يكون بأبعاد مقاربة للمروحة الدوارة لتقليل التسرب من الخلوصات وهو يكون إما ذو شكل حلزونى *Volute type* أو ذو شكل توربينى *turbine or diffuser type* كما هو مبين فى الشكل رقم (٢-٩). فالمضخات حلزونية الغلاف يكون محيط الغلاف الخارجي على هيئة أنبوبه تتسع تدريجيا فى إتجاه السريان لتقليل طاقة السرعة التى تتحول إلى طاقة ضغط وكذلك تؤدي إلى تقليل الإحتكاك، وينتهي الغلاف بقطر مساوى لقطر ماسورة الطرد. فكلما زادت مساحة مقطع السريان تتناقص السرعة وبالتالي يتزايد الضغط. والنوع الآخر من الغلاف والذى يسمى بالغلاف التوربينى ذو كفاءة عالية فى تحويل طاقة الحركة إلى طاقة ضغط وهو كما فى الشكل رقم (٢-٩) مزود بريش توجيه ثابتة *Stationary Guide Vanes* وهى بمثابة ممرات تتسع تدريجيا فتعمل على تناقص تدريجى فى السرعة وبالتالى تزايد فى الضغط. والغلاف التوربينى يكون دائرى الشكل ومركزة هو نفس مركز المروحة على خلاف الغلاف الحلزونى.





شكل (٢-٩): الغلاف الخارجى للمضخة الطاردة المركزية
(أ) شكل حلزونى (ب) شكل توربينى

٢-٣-٣- موانع التسرب:

حيث أن عمود المروحة الدوار يمر خلال غلاف الطلمبة الثابتة فإنه يستلزم الأمر وجود مانع لتسرب المياه حول العامود ويوجد نوعين من موانع التسرب:

أ- صندوق الحشو Stuffine Box Packing

يحتوى هذا الصندوق شكل رقم (٢-٨) عادة على حشو طرى من الأسبستوس المخلوط بالجرافيت ويطلق على الحشو "سر مسطرة" وهناك أنواع مختلفة متوافرة فى السوق المحلى منها (قطنية بلجرافيت أو التفلون ـ أمينت بالزيت أو الشحم ـ تفلون ـ أمينت تفلون) ويجب أن يتصف الحشو بمواصفات هى أن يكون بالمقاس لطراز الطلمبة وأن يكون من مادة ناعمة لتقليل الاحتكاك بين العامود ومادة الحشو وكذلك مقاوم للتآكل وقابل للتشكيل والإنضغاط. ويتكون

الحشو من حلقات متتالية تضغط عليها جلبة الحشو (الجلاند). والأخيرة تكون مشقوقة إلى نصفين ليسهل فكها واستخراج الحشو التالف واستبداله بآخر جديد دون التعرض لأجزاء الطلمبة ويترك حيز كافى بين جلبة الحشو وكراسى التحميل (رولمان بلى) المجاور، ليسمح باستخراج جلبة الحشو كلما لزم الأمر وعند وضع الحشو الجديد تربط مسامير الجلاند برفق مع السماح لتسرب ضئيل من المياه ليقوم بنوع من التزييت بين العامود والحشو ويمكن زيادة ربط مسامير لجلاند كلما لوحظت زيادة فى التسرب أثناء تشغيل الطلمبة مع مراعاة ألا ينعدم التسرب تماماً حتى لايتلف الحشو بالاحتكاك. وهذا النوع من مانع التسرب تماماً حتى لايتلف الحشو بالأحتكاك. وهذا النوع من مانع التسرب لايلائم ضخات الضغط العالى حيث يتعرض الحشو للتلف بسهولة.

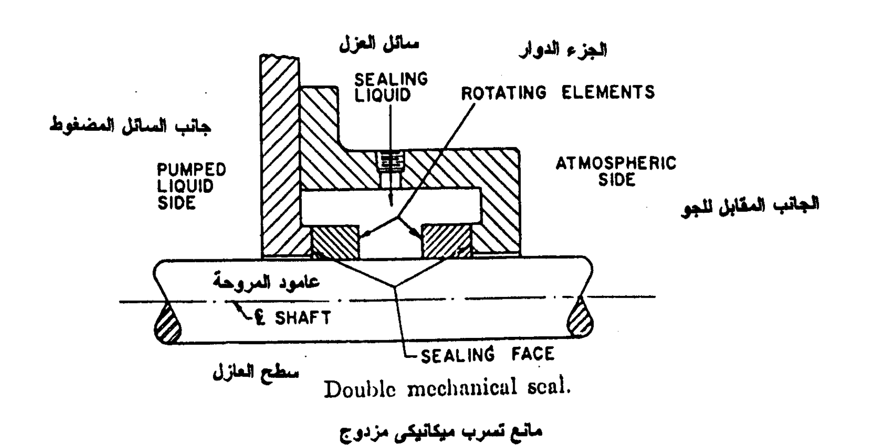
ب- مانع التسرب الميكانيكى Mechanical Seal

رغم اختلاف التصميمات لموانع التسرب الميكانيكى إلا ان اساسيات عملها واحدة. حيث أن أسطح التلاس للمانع تقع فى مستوى عمودى على عمود الدوران وتتكون من سطح متحرك متصل بالعمود والسطح الآخر ثابت متصل بجسم المضخة وهذه الأسطح الناعمة اللامعة يفصل بينهما السائل الذى يقوم بعملية التزييت والتبريد لتقليل الاحتكاك وبالتالى فإن نظرية عمل مانع التسرب هى نفسها نظرية عمل كرسى التحميل Bearing حيث يوجد سطحان للتلامس يبينهما سائل التزييت لتقليل الاحتكاك بين السطحين وقد يكون مانع التسرب داخلى Internal أو خارجى External وذلك حسب موقع مانع التسرب الدوار (Rotating element) كما فى الشكل (٢-١٠) ومانع التسرب الميكانيكى قد يحدث منه تسرب بسيط جداً وذلك عند حدوث تآكل فى سطح المانع

الجزء الثابت
ROTATING ELEMENT
الجانب المقابل للجو
الجانب المقابل للسائل المضغوط
ATMOSPHERIC SIDE
PUMPED LIQUID SIDE
℄ SHAFT
عامود المروحة

External assembly seal.

مانع تسرب ميكانيكى داخلى



Double mechanical seal.

مانع تسرب ميكانيكى مزدوج

شكل (٢-١٠): الأنواع المختلفة لمانع التسرب الميكانيكى

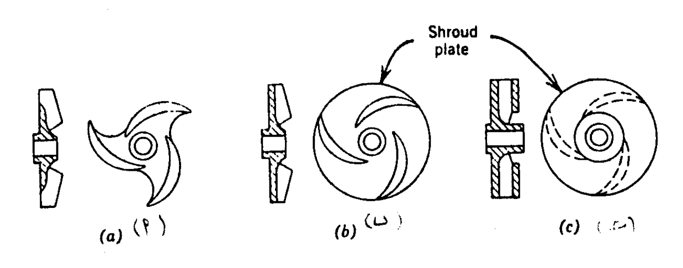
فى المضخات ذات الضغط العالى يستخدم الحشو المعدنى ليقاوم الضغط ويتركب من حلقة مثبته فى عامود المضخة الدوار وياى للضغط عليها وذلك لمنع تسرب المياه حول العامود الدوار وغلاف الطلمبة الثابت وعلى ذلك فإن استبدال الحشو المعدنى يتم بواسطة ميكانيكى متخصص على عكس تغيير السر مسطرة بالإضافة إلى تآكل الحشو المعدنى عند وجود مواد تساعد على التآكل فى الماء وأيضاً عند التشغيل الجاف.

٢-٣-٤- أنواع المراوح

وتتكون المروحة من عدة ريش فتصل من ٤ إلى ٨ فى المضخات الصغيرة ومن ١٦ إلى ٣٠ فى المضخات الكبيرة. ويكون إتجاه دوران المروحة بحيث ينزلق السائل على الجزء المحدب من الريشة لتقليل الإحتكاك وكذلك الطاقة المفقودة فى التصادم وبذلك يتضح أن إتجاه الدوران مهم جدا فعند تغيير إتجاه الدوران لا تعطى المضخة الكفاءة المطلوبة منها.

وتتقسم المضخات أيضا حسب نوع المروحة فتوجد المراوح المقفلة *Enclosed impellers* والمراوح شبه المقفلة *Semienclosed* والمراوح المفتوحة *Open* كما فى شكل رقم (٢-١١).

وتزود المراوح بفتحات إتزان الضغط Balancing holes لكى تعمل على معادلة الضغط على الريشة من ناحية السحب والطرد لتقليل قوى الدفع المحورى على المروحة axial thrust وكذلك تسمح بمرور جزء من المياه خلال الحشو ناحية الجلاند.



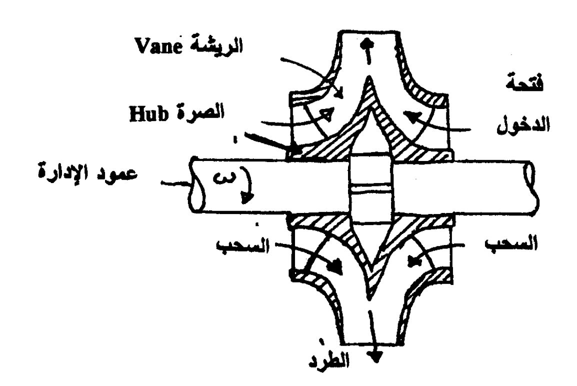
شكل (٢-١١): تقسيم المضخات حسب نوع المروحة

(أ) مفتوحة (ب) شبه مقفلة (جـ) مقفلة

المروحة المفتوحة تكون عبارة عن صرة *(hub)* تتصل بها الريش بينما المروحة المقفلة تتكون من قرصان *shroud plates* متوازيان، وبين القرصين مجموعة من الريش المنحنية تعمل كدليل للسريان وفى نفس الوقت لتثبيت القرصان معا.

أما المراوح شبه المقفلة فيوجد قرص واحد فقط مثبت عليه الريش. والمراوح المقفلة تكون كفاءتها أعلى من المراوح المفتوحة. ولو أن المروحة المفتوحة أفضل من وجهة نظر عدم الإنسداد بسهولة وتفضل فى الإستخدام فى حالة ضخ السوائل التى يوجد بها حمل عالق.

وقد تنقسم المضخات الطاردة المركزية أيضا إلى مضخات مفردة السحب، ومضخات مزدوجة السحب كما فى الشكل رقم (٢-١٢). وتتصف الأخيرة بالتماثل كما أنها أيضا مزودة بمساحة مدخل كبيرة مع سرعات مدخل أصغر منها بالنسبة للمضخة مفردة السحب ذات نفس القطر الخارجى للدفاعة والمضخات الطاردة المركزية هى المضخات الأكثر شيوعا حيث أنها تستطيع التعامل مع جميع أنواع السوائل فى مدى كبير للتصرف والضغط. وتعطى ضاغط يصل إلى حوالى ٨٠ متر ماء للمرحلة الواحدة وتصرفات صغيرة إلى متوسطة. وبالمقارنة بجميع أنواع المضخات نجد أن تصرف المضخة الطاردة المركزية يكون أكبر من المضخات الإيجابية وأقل من تصرف المضخات المروحية، والضاغط الذى تعطيه أقل من ضاغط المضخات الإيجابية وأكبر من ضاغط المضخات المروحية.

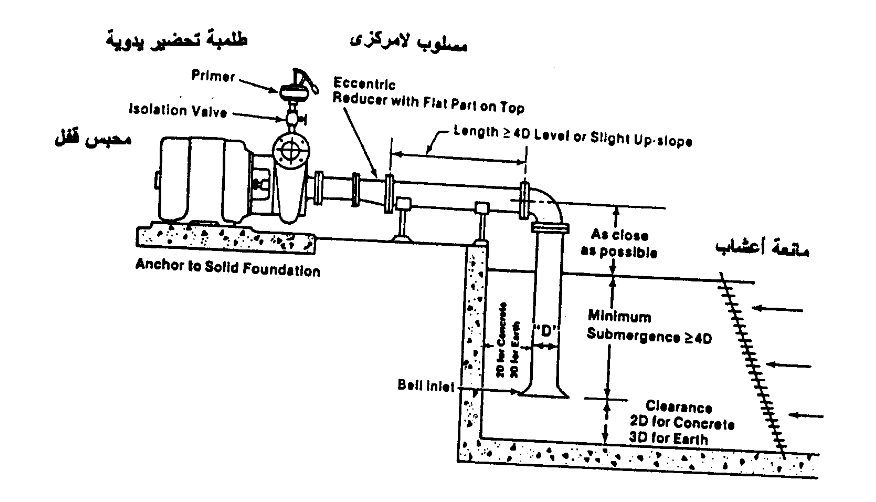


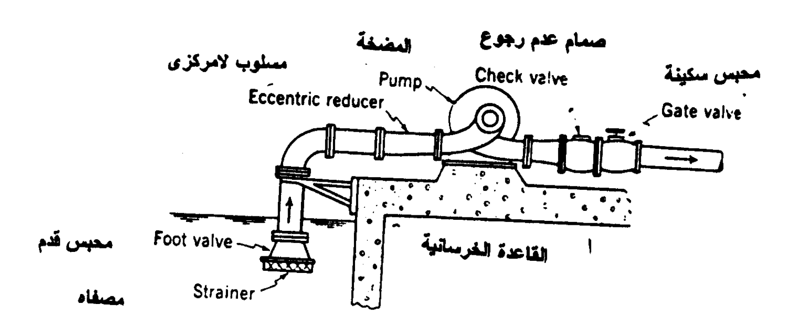
شكل (٢-١٢): أجزاء دفاعة مزدوجة السحب
Double-Suction impeller

٢-٣-٥- تركيب المضخة الطاردة المركزية Installation

يجب أن تركب المضخة أولاً فى مأوى (غرفة) ذات تهوية جيدة تسمح بتبريد جيد للموتور ويفضل عمل فتحة تهوية (شباك) أمام فتحة المروحة لتبريد الموتور وأن يكون السقف مانع للتسرب حتى لاتسقط مياه المطر على لوحة التشغيل أو المحرك مما يتسبب فى حدوث قصر كهربائى أو تعرض المشغل للصعق بالتيار وأن تكون أرضية الغرفة مستوية بميل خفيف يسمح بمرور المياه بإتجاه الصرف وعدم تراكم المياه بأرضية الغرفة وأن يتم تركيب بلاط للأرضية حيث أن المياه المتجمعة تسبب إنضغاط الرمال تحت القاعدة الخرسانية وحدوث ميل للمضخة يتسبب فى مشاكل أثناء التشغيل. ويجب أن تكون قاعدة المضخة أفقية تماماً ويتم ذلك باستخدام ميزان مياه وأن تكون وصلات السحب (المص) والطرد مثبته على حوامل خاصة بها حتى لاتؤثر على ضغط المضخة والمحرك كما فى الشكل (٢-١٣).

وتعتبر أول خطوات التركيب إنشاء القاعدة الخرسانية التى سيتم تثبيت المضخة والمحرك عليها وسمك الصبة الخرسانية يكون فى حدود ٤٠سم وأبعادها تكون أكبر من الأبعاد الأفقية للمحرك والمضخة معاً بمسافة حوالى ١٠سم للمحرك الكهربى إلى ٣٠ سم للمحرك الديزل ويجب أن تكون القاعدة الخرسانية معزولة عن الأرضية الخرسانية بلوح من الفلين أو المطاط لتقليل الإهتزازت. ويجب أن لايقل وزن القاعدة الخرسانية عن ١٥٠٪ من وزن المعدات (المضخة والمحرك) فوقها ويمكن حساب إرتفاع القاعدة الخرسانية المطلوبة من المعادلة التالية:





شكل (٢-١٣): تركيب المضخة الطاردة المركزية

$$D = \frac{1.5 \times EW}{L \times W \times 2165}$$

حيث:

D : عمق أو إرتفاع القاعدة الخرسانية بالمتر.

EW : وزن المعدات (المحرك والمضخة) بالكيلوجرام.

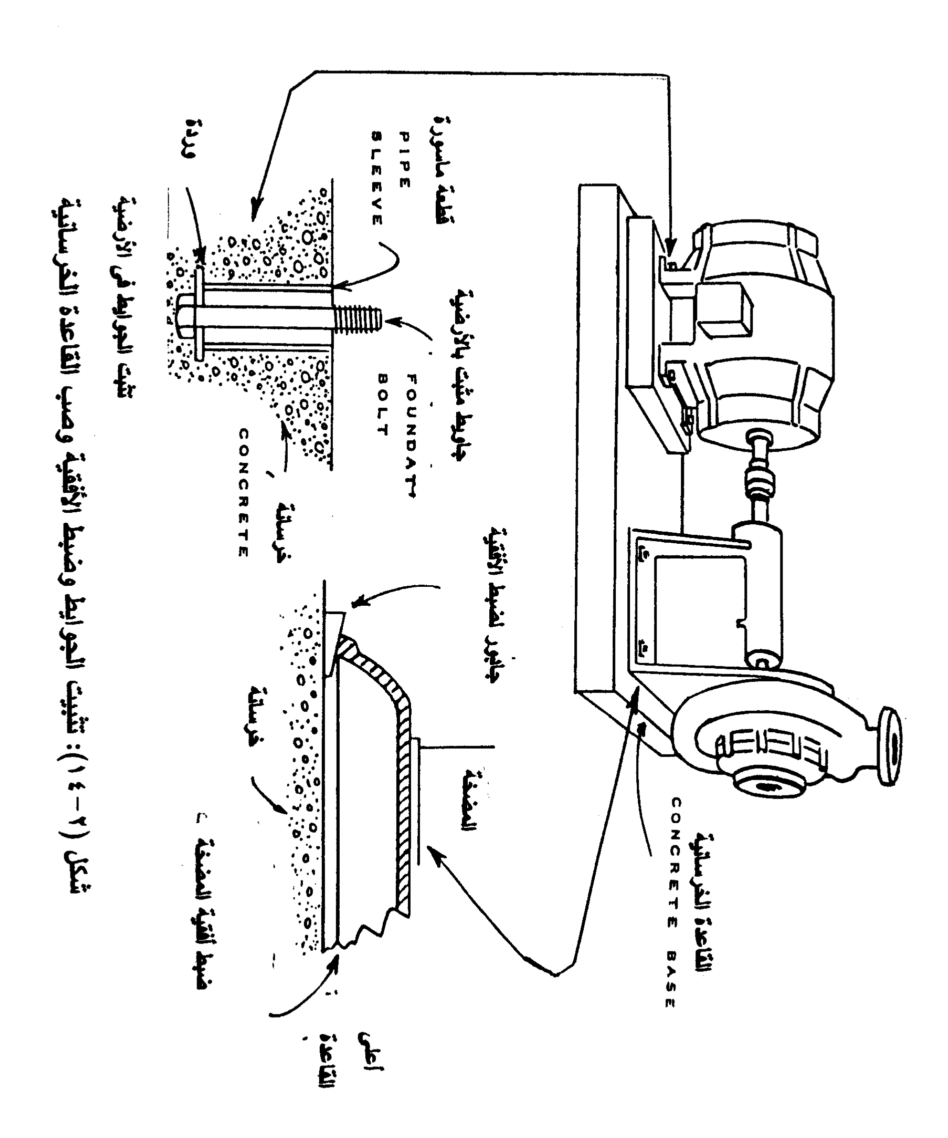
W : عرض القاعدة الخرسانية بالمتر.

L : طول القاعدة الخرسانية بالمتر.

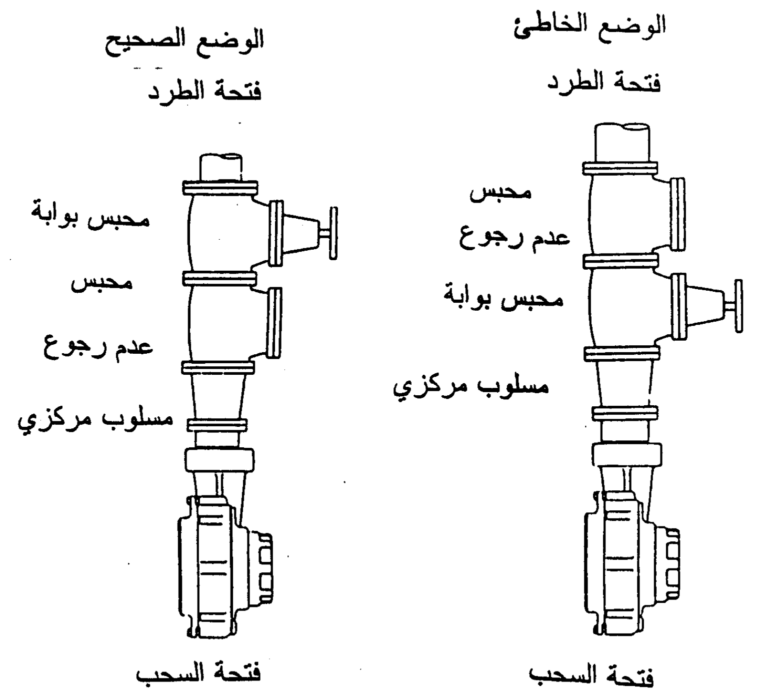
٢١٦٥ : وزن متر مكعب من الخرسانة بالكيلوجرام (١٣٥ رطل/قدم^{3}).

وعند صب القاعدة الخرسانية يجب تثبيت الجوايط وضبط الأفقية قبل الصب ويجب ألا يقل عدد هذه الجوايط عن ٦ وبطول مناسب (٣٠سم) وفائدة الجوايط أنه يستخدم فى تثبيت قاعدة المحرك والمضخة بالقاعدة الخرسانية كما هو مبين بالشكل رقم (٢-١٤).

ويجب مراعاة ترتيب تركيب كل من محبس القفل ومحبس عدم الرجوع على خط طرد المضخة حيث يجب تركيب محبس عدم الرجوع أولاً بعد المضخة مباشرة ثم يتبعه محبس القفل وليس العكس كما هو موضح بالشكل (٢-١٥). وعند تركيب وصلة السحب لابد أن تكون مثبتة جيداً أثناء التركيب بدعامات حديدية لمنع اهتزازها أثناء العمل. كما يجب أن يكون عمق المياه كافى أعلى فانوس السحب ومصفاة الأعشاب لضمان غمر فتحة السحب بالكامل ولمنع حدوث دوامات داخل البيارة وبالتالى دخول الهواء مع المياه إلى ماسورة السحب مما ينتج عنه حدوث إهتزازات وضوضاء فى المضخة وانخفاض فى كل من التصرف والضغط بالإضافة إلى أن المضخة قد تفقد تحضيرها أثناء التشغيل وتتوقف عن ضخ المياه.



شكل (٢-٤١): تثبيت الجوايط وضبط الأفقية وصب القاعدة الخرسانية



شكل (٢-١٥): ترتيب كل من محبس القفل ومحبس عدم الرجوع

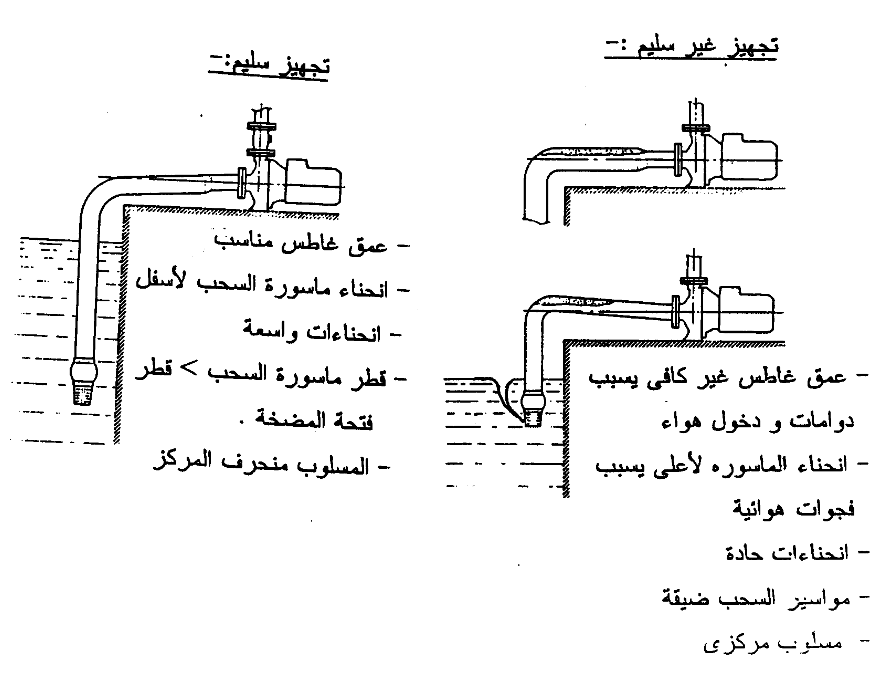
وعادة يتم تركيب مسلوب بعد ماسورة السحب وقبل نقطة دخول المياه إلى المضخة لخفض القطر بين ماسورة السحب والمضخة (قطر ماسورة السحب أكبر من قطر فتحة السحب فى المضخة) ومن الأخطاء الشائعة استخدام مسلوب مركزى Concentric reducer أو متماثل بالنسبة لزوايا الميل على جوانبه بل يجب استخدام مسلوب غير مركزى Eccentric reducer (زاوية ميله منحرفة عن المركز) لضمان إستمرار سريان المياه وعدم حدوث تفريغ نتيجة لوجود ثغرة هوائية داخل خط السحب.

وعند تركيب خط السحب يجب أن يأخذ ميل خفيف إلى أسفل ولايجوز أن يميل لأعلى بالنسبة إلى فتحة السحب فى المضخة لمنع تكون جيوب هوائية كما بالشكل رقم (٢-١٦) . ومن الضرورى أيضاً تجنب الانحناءات الحادة فى خط السحب كما فى الشكل رقم (٢-١٧). وكذلك يجب استخدام ماسورة أفقية لايقل طولها عن ١٢ قطر الماسورة فإذا كان قطر الماسورة ٣ بوصة يكون طولها ٣قدم وإذا كان قطر الماسورة ٤ بوصة يكون طولها ٤قدم وهكذا وذلك لتقليل الدوامات وبالتالى تقليل فواقد خط السحب. ومن العمليات المهمة التى يجب التأكد منها عند تركيب المضخة عملية ضبط أفقية وإتزان عمود المضخة والمحرك وذلك للحصول على أفقية واتزان فى توصيل الحركة من عمود المحرك إلى عمود الطلمبة بدون حدوث اهتزازات أو ترحيل أو فرق فى المنسوب يعمل على إنهيار الوحدة بالكامل ويؤثر تأثير مباشر على الحوامل (رولمان البلى) ويؤدى إلى تلفها لذا يجب العناية التامة بإجراء عملية ضبط أفقية وتطابق محاور الأعمدة المشتركة بالكابلنج وهو المسئول عن نقل الحركة كما هومبين بالشكل رقم (٢-١٨).

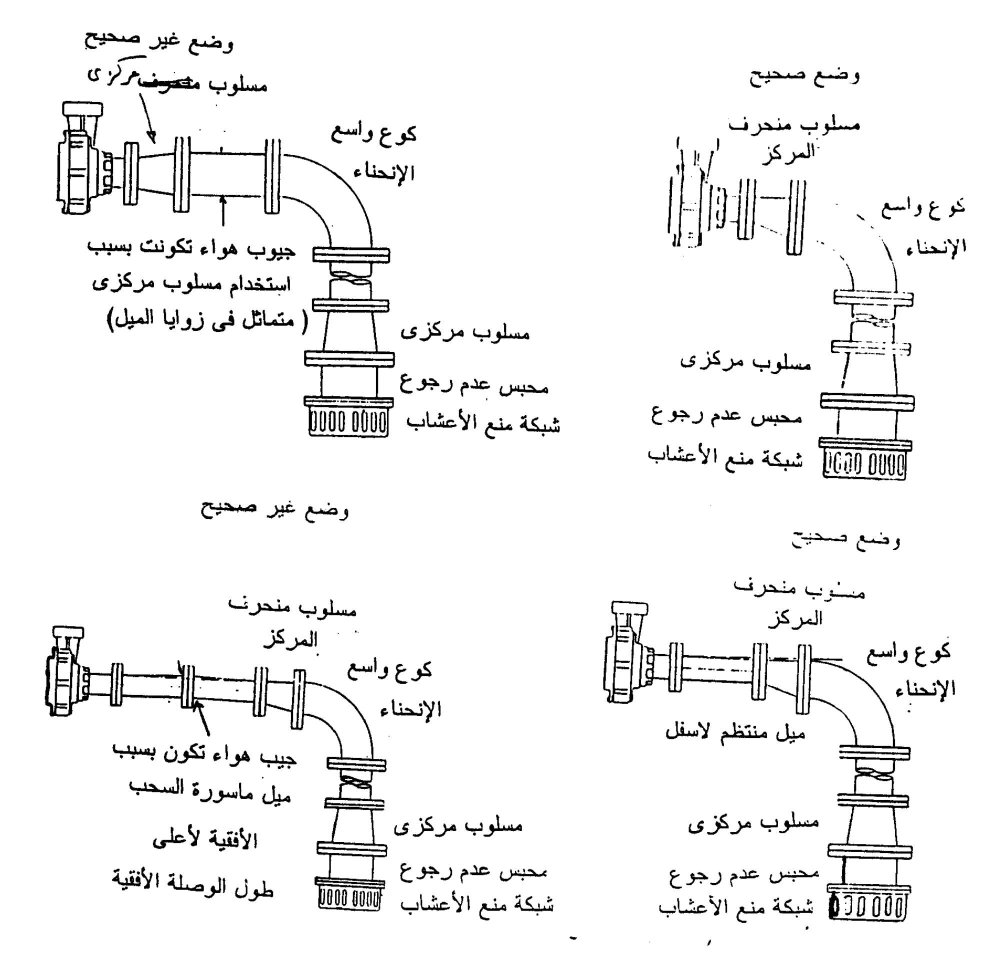
ويتم اختبار الأفقية وتطابق المحاور بوضع مسطرة ذات حافةمعدنية حادة مستقيمة تماماً تسمى الإده على نصف الكابلنج Coupling alignment ثم ننظر من أمامها إلى المسافة بين الحافة والكابلنج كما فى الشكل (٢-١٨). وهنا يظهر فجوة بين حافة الإده وأحد نصفى الكابلنج بما يدل على أنه يوجد فرق فى المنسوب بين النصفين مما يستلزم رفع هذا الجزء ليصبح مساوى للجزء الآخر أى يجب إما رفع المضخة أو المحرك ولا تقتصر عملية الضبط هنا على الإتجاه الرأسى بل يجب ضبط الإتزان الأفقى أيضاً للكوبلنج أى يتم الضبط فى الأربع

إتجاهات (أعلى وأسفل بالإضافة إلى اليسار واليمين) وذلك لجعل دوران كل من عمود المضخة وعمود المحرك على محور واحد حتى لايحدث اهتزاز أثناء الدوران يؤثر على باقى الأجزاء سواء فى المضخة أو المحرك.

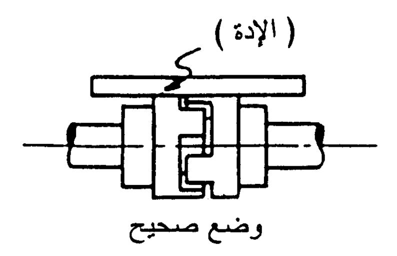
وقبل تشغيل المضخة يجب التأكد من نظافة المجرى المائى (التبطين) وكذلك نظافة وسلامة شبكة الأعشاب بالإضافة إلى نظافة حوض المص (البيارة) حيث يجب تطهيره بصفة دورية من ترسيبات الطمى والرمال التى تسبب تهالك وتلف وتآكل أجزاء المضخة الداخلية.

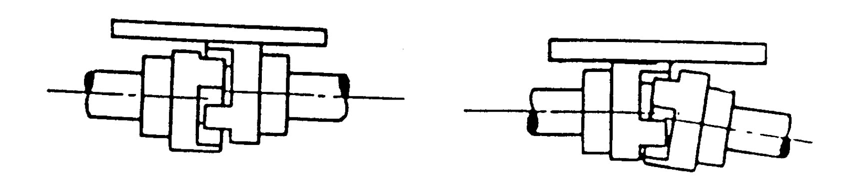


شكل (٢-١٦): طريقة التركيب السليمة لوصلة السحب والأخطاء الشائعة عند التركيب



شكل (٢-١٧): النصائح الصحيحة والخاطئة فى تركيب وصلة السحب





أوضاع غير صحيحة للتركيب تحتاج الى ضبط

شكل (٢-١٨): ضبط أفقية وتطابق وصلة المحاور

التوصيلات الكهربية Electrical Connections

إن الاستخدام السليم للموتورات الكهربية فى الضخ يتطلب النوع المناسب من الموتورات الكهربية والتركيب الصحيح مع الحماية المناسبة للموتور. مع اختيار المقاس المناسب من الكابلات الكهربية بحيث يكون أقصى فاقد فى فرق الجهد ٢٪ من جهد الخط عند الحمل الكامل للتيار.

التيار الكهربى العمومى هو تيار متردد (Alternating Current (AC) يصلنا فى تردد ٥٠ سيكل و ٢٢٠ فولت وهذا التيار هو الغالب فى أوروبا ومعظم بلاد العالم عدا الولايات المتحدة الأمريكية فهو ذو تردد ٦٠ سيكل و ١١٠ فولت. والتيار المتردد لايكون فيه إتجاه التيار نفس إتجاه الفولت ولكن توجد زاوية (ϕ) بينما جيب تمامها ϕ cos هو ما يسمى بمعامل القدرة Power Factor ومعامل القدرة غالباً يكون أقل من الواحد ويساوى تقريباً ٠,٨ – ٠,٩ وهذا يفسر إعطاء قدرة المعدات التى تعمل بالتيار المتردد بالكيلو فولت أمبير وليس بالكيلووات (Kilovolt - amps (KVA) حيث ان القدرة الفعلية بالكيلووات تساوى الكيلو فولت أمبير مضروباً فى معامل القدرة.

$$KW = P.F. \times KVA$$

والعامل الآخر الذى يجب أن ننتبه إليه هو عند نقل الكهرباء مسافة طويلة فإنه لدواعى اقتصادية للتوفير فى مساحة مقطع الكابلات الكهربية فإن التيار الكهربى ينقل عبر خطوط جهد عالية حيث أنه لنقل قدرة كهربية معينة فأنه بزيادة فرق الجهد يقل التيار الكهربى المار وبالتالى تقل مقطع الكابل أو قطره وهذا يمكن تشبيهه بنقل المياه عبر المواسير حيث أنه يمكن نقل نفس كمية المياه بضغط مرتفع فى مواسير أقل قطراً حيث ان القدرة المائية عبارة عن حاصل ضرب الضغط × التصرف فيمكن الحصول على نفس القدرة بزيادة الضغط وتقليل التصرف أو بمعنى آخر التقليل فى مساحة مقطع الماسورة وبالتالى يمكن التوفير فى تكلفة المواسير. وعلى هذا الأساس فإن التيار الكهربى المغذى يمر بعدد من مراحل التخفيض حيث أن الخطوط الرئيسية تعطى فرق جهد ٦٦ كيلو فولت ثم يتم تخفيضها إلى ١١ كيلو فولت باستخدام محول ١١/٦٦ ثم تخفض مرة اخرى إلى ٣٨٠ فولت بمحول ٣٨٠/١١٠٠٠ وهذه القيمة النهائية هى التى يمكن أن تدخل على المحرك وتمثل التيار المغذى.

مصدر التيار المتردد بذبذبة ٥٠ سيكل وفرق جهد ٣٨٠ فولت ثلاثى الأطوار (٣ فاز) 3-phase عادة ما يكون متوافر فى المزرعة. والكابل يحتوى على ٤ أطراف للتيار ثلاثى الأطوار عادة يستخدم لتشغيل الموتورات الكهربية ثلاثية الأطوار. على الرغم من أنه يمكن الحصول على تيار أحادى الطور Single Phase بفرق جهد ٢٢٠ وذلك من المصدر ثلاثى الأطوار وذلك لاستخدامه فى الإضاءة أو تشغيل الموتورات الأحادية الأطوار.

والموتورات ذات القدرة الأعلى من ٣ حصان غالباً ما تكون ثلاثية الأطوار 3 - phase squirrel cage induction motors وهى تمتاز برخص التكلفة سواء الشرائية أو تكاليف التشغيل ونعومة الحركة وإطالة عمر التشغيل. وتستخدم الموتورات ذات الطور الواحد single phase induction motors فى تشغيل المضخات تحت ضغط وتصرف منخفض.

وتحتوى لوحة الكهرباء للموتورات ٣ فاز على عداد الكهرباء ومؤشر لكل من التيار والفولت وكذلك لمبات بيان indicator lamps ومفتاح رئيسى main switch وبادئ التشغيل Starter.

فعداد الكهرباء ومؤشر التيار والفولت تعتبر مؤشرات مفيدة ولكن ليست ضرورية فعداد الكهرباء يعطى كمية الكهرباء المستهلكة بالكيلووات. ساعة والفولتيميتر voltmeter والأميتر ammeter هما مؤشر لقيمة التيار وفرق الجهد لتيار التغذية بأطواره الثلاثة (3-phase) أما لمبات البيان فتعطى مؤشر إذا كانت الفازات الثلاثة يمر بها التيار الكهربى أم لا.

المفتاح الرئيسى وهو يقوم بتوصيل التيار الكهربى من خط التغذية إلى الموتور فى حالة الموتور إحادى الطور فإنه يحتوى على منصهرات لطرفين واحد للغاز والثانى المتعادل وفى حالة الموتورات ثلاثية الأطوار يحتوى على ثلاثة منصهرات لثلاثة فازات.

وحيث أن الموتورات ذات التيار المتردد تسحب تيار كهربى فى بداية التشغيل ٤ أمثال التيار عند التشغيل العادى إذا تم تشغيلها فى البداية على فرق الجهد الكامل Full Line Voltage ولهذا فمن الضرورى للموتورات الثلاثية الأطوار أن تزود ببادئ Starter على الخط وذلك لتخفيض التيار الكهربى فى بداية الحركة وهو يكون على شكل مفتاح ستار - دلتا Star- delta starter وذلك للموتورات أكبر من ٥ حصان.

أما الأقل من ٥ حصان فيستعمل مفتاح مباشر ذو زر يعمل باللمس Push button starters / Direct - on - line starter كما فى الشكل ويحتوى على أوفرلود Overload وذلك لإمكان إيقاف الموتور فى حالة زيادة الحمل. وهذا المفتاح يحتوى على زرين push buttons أحدهما للتشغيل عادة لونه أخضر والآخر للإيقاف ولونه أحمر.

أما مفتاح ستار دلتا فإنه يعمل بالهواء air-break وذلك للموتورات قدرة ٥-١٥ حصان أما الموتورات الأعلى من ذلك فأنه يعمل بالزيت - immersion Oil وهذا المفتاح يعمل بمبادئ تخفيض فرق الجهد. فعند بدء التشغيل يقوم بتوصيل الموتور بستار وبالتالى يخفض فرق الجهد إلى $phase\ voltage \times \frac{1}{\sqrt{3}}$

بالتالى تخفيض التيار phase current بنفس النسـبة. ولهـذا فـإن الموتـور يحتـوى على ٦ أطراف كما هو موضح بالشـكل (٢- ١٩) لإمكـان التوصيـل بسـتار عنـد بدء التشغيل. ولهذا عند بدء الضغط على مفتاح التشغيل فـإن الموتـور يـدار علـى توصيل ستار ثم بعد ذلك يدار على توصيل دلتا علـى كـامل فـرق الجهـد. ويـزود مفتـاح بـدء التشـغيل Starter بمفتـاح اوفرلـود overload releases وذلـك لحمايـة الموتور من الزيادة فى التيار حيث يوقف الموتور عند الزيادة ١٠٪ فـوق أقصـى تيار للموتور Maximum motor current وهـذا المفتـاح مـن النـوع المغناطيسـى magnetic type أو النوع الحرارى thermal type.

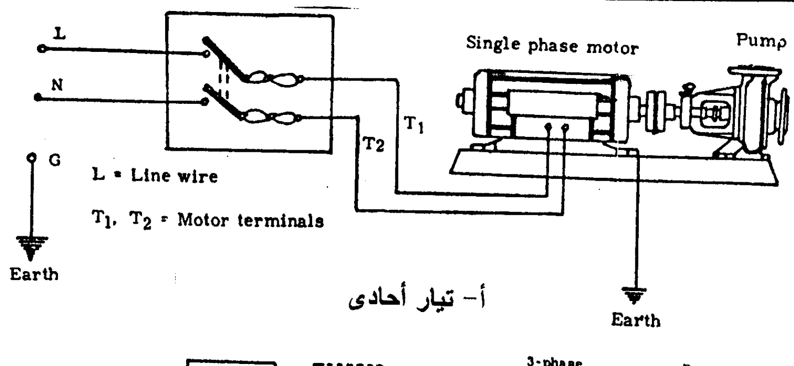
ينقسـم نـوع العـزل داخـل الموتـور الكهربـى Motor Insulation حسـب اقصى درجة حرارة للتشغيل إلى أبعة أقسام هى:

Class A - ٩٠ درجة مئوية

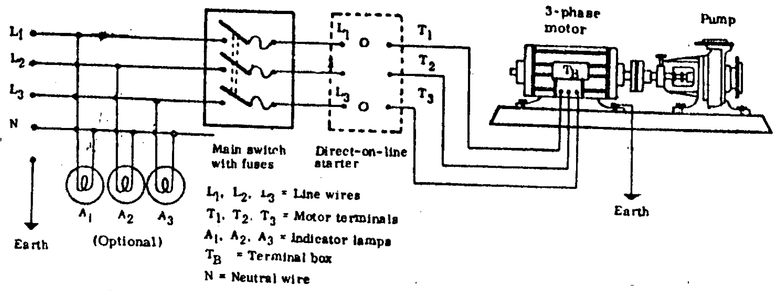
Class B- ١٣٠ درجة مئوية

Class F- ١٥٥ درجة مئوية

Class H- ١٨٠ درجة مئوية

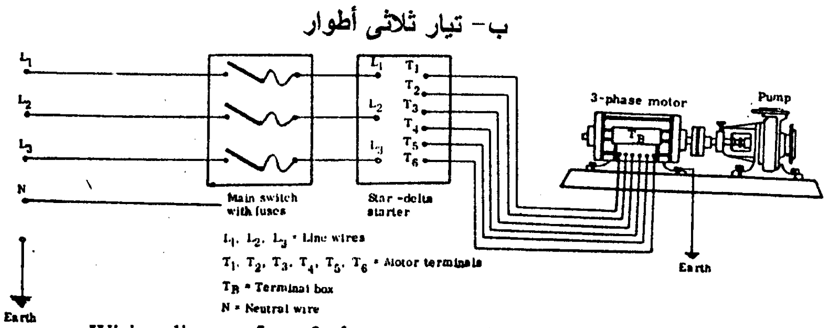


أ- تيار أحادى



Wiring diagram for 3-phase motor with direct-on-line starter

ب- تيار ثلاثى أطوار



Wiring diagram for a 3-phase motor with star-delta starter.

جـ- تيار ثلاثى ستار - دلتا

شكل (٢-١٩) التوصيلات الكهربية للموتور الكهربى

٢-٣-٦-التشغيل الذاتى للمضخة بواسطة بالونة الهواء

Hydro- Pneumatic Tanks

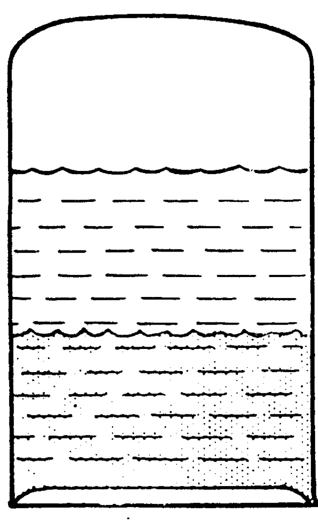
فى بعض التطبيقات العملية يتطلب التغذية بالمياه تحت ضغط أوتوماتيكياً مما يستلزم إستخدام خزان هواء مضغوط (بالونة هواء) على خط طرد المضخة وذلك لكى يتحكم فى تشغيلها ذاتياً عند إنخفاض الضغط فعند رفع المياه إلى الشقق فى العمارات السكنية يتطلب ذلك وجود المياه باستمرار داخل شبكة المواسير تحت ضغط فعند فتح الصنبور (الحنفية) داخل الشقة فإن ضغط المياه ينخفض مما يتسبب فى تشغيل المضخة أوتوماتيكياً لعدم تكرار هذه العملية عند كل فتح للصنبور فإن وضع بالونة الهواء على خط الطرد للمضخة يستوعب كمية من المياه تكون بمثابة مياه مخزنة وذلك لتقليل عدد مرات تشغيل المضخة فى الساعة وذلك حتى لايحدث سخونة للمحرك الكهربى فالحد الأقصى لعدد مرات التشغيل فى الساعة هو حوالى ١٠ مرات. ولحساب حجم البالونة المطلوبة لتركيبها على المضخة يرجع للشكل رقم (٢-٢٠). حيث V_1 هى حجم المياه فى غرفة الهواء (البالونة) كنسبة مئوية من حجم البالونة الكلى وذلك عند الضغط المرتفع للمياه P_1 ضغط مطلق وهو ضغط إيقاف المحرك Cut-out Presssure عن طريق مفتاح الضغط Pressure switch أما V_2 فهى حجم المياه فى غرفة الهواء كنسبة مئوية من حجم البالونة الكلى عند الضغط المنخفض P_2 ضغط مطلق وهو ضغط بدء تشغيل المحرك Cut-In Pressure عن طريق مفتاح الضغط ولحساب حجم المياه الممكن سحبه من البالونة عند إنخفاض الضغط المطلق من P_1 إلى P_2 يمكن إتباع الآتى باستخدام قانون بويل للغازات وذلك لتغير حجم الهواء فى الفراغ من $(V - V_1)$ عند ضغط مطلق P_1 إلى $(V-V_2)$ عند ضغط مطلق P_2 حيث V الحجم الكلى للبالونة.

$$P_1 (V - V_1) = P_2 (V - V_2)$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V - V_2}{V - V_1}$$

$$\frac{P_1 - P_2}{P_2} = \frac{V - V_2 - V + V_1}{V - V_1}$$

$$\left(\frac{P_1}{P_2} - 1\right) = \frac{1 - \frac{V_2}{V} - 1 + \frac{V_1}{V}}{1 - \frac{V_1}{V}}$$



P_1: النسبة المئوية لحجم الماء الموجود $= V_1$ — بالبالونة عند ضغط الفصل لمفتاح الضغط.

P_2 : النسبة المئوية لحجم الماء الموجود $= V_2$ — بالبالونة عند ضغط تشغيل لمفتاح الضغط

شكل (٢-٢٠): بالونة الهواء

وحيث أن V_1، V_2 هى كنسبة مئوية من الحجم الكلى للبالونة V فإن النسبة المئوية لحجم الماء الممكن سحبه من البالونة $V_1 - V_2$ يساوى

$$V_1 - V_2 = \left(\frac{P_1}{P_2} - 1 \right) (100 - V_1)$$

وعند استخدام هذه المعادلة يجب أن يعبر عن الضغط بالقيمة المطلقة والحجم كنسبة مئوية لحجم البالونة.

مثال:

بالونة حجمها ١٠٠٠ جالون وكان ضغط فصل المحرك الكهربى لها ٤٠ رطل/البوصة[٢] عند إمتلاء البالونة بحجم مياه ٦٠٪ من حجمها الكلى وكان ضغط تشغيل المحرك الكهربى ٢٠ رطل/البوصة المربعة فما هو سعة البالونة التخزينية للماء. Storage Capacity

الحل:

يجب تحويل الضغط القياسى إلى ضغط مطلق قبل التعويض فى المعادلة:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{40 + 14.7}{20 + 14.7} = \frac{54.7}{34.7} = 1.58$$

$$Storage\ Capacity = (1.58 - 1)(100 - 60) = 23.2\%$$

$$= 1000 \times 0.232 = 232\ gal$$

تحديد سعة خزان الضغط Pressure Tank Size

يتم تحديد سعة خزان الضغط (البالونة) بعشرة أمثال التصرف المطلوب للشبكة فى الدقيقة فمثلاً إذا كان التصرف المطلوب للشبكة ١٠٠ جالون فى الدقيقة فإن سعة خزان الضغط تكون ١٠٠٠ جالون. وبالمثل إذا كان التصرف المطلوب للشبكة ١,٥ م^3/س أى ٢٥ لتر/دقيقة فإن سعة خزان الضغط المطلوب ٢٥٠لتر.

ويوجد طريقة حسابية لتحديد سعة خزان الضغط من المعادلة الآتية:

$$V_t = \frac{5Q(P_2 + 14.7)}{P_2 - P_1}$$

فعند تطبيق هذه المعادلة على المثال السابق وهو عندما يكون تصرف الشبكة ١٠٠ جالون/دقيقة وضغط إيقاف وتشغيل المحرك ٤٠، ٢٠باوند/ بوصة المربعة فإن:

$$V_t = \frac{5 \times 100(40 + 14.7)}{40 - 20}$$

$$V_t = \frac{500 \times 55}{20} = 1375\,gal$$

بالمقارنة بالطريقة التقريبية وهى عشرة أمثال التصرف أى ١٠٠٠جالون.

حيث:

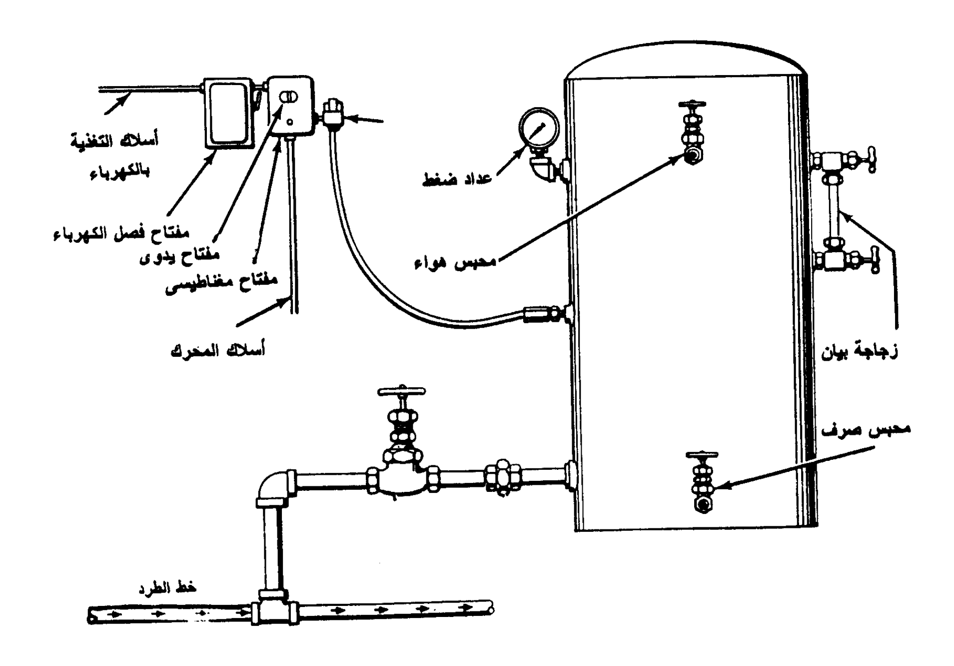
P_1: أقل ضغط قياسى فى الوعاء *Psi*

P_1: أعلى ضغط قياسى فى الوعاء *Psi*

V_t: حجم الوعاء بالجالون

Q: تصرف المضخة جالون/دقيقة *gpm*

يوضح شكل رقم (٢-٢١) طريقة توصيل بالونة الهواء بخط الطرد ومفتاح الضغط



شكل (٢-٢١): طريقة توصيل خزان ضغط الهواء بخط الطرد ومفتاح الضغط

٢-٤- المضخات الرأسية متعددة المراحل

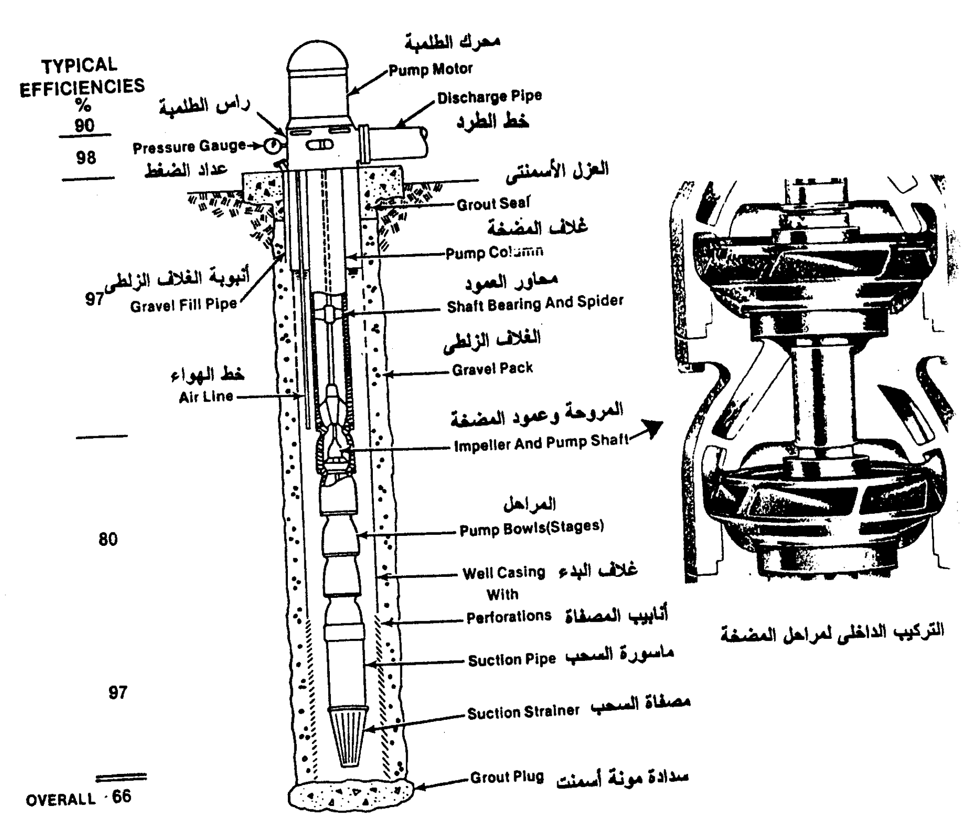
والمضخات الطاردة المركزية إما أن تكون مفردة المرحلة *Single Stage* أو متعددة المراحل *Multi-Stage pump*. في الأخيرة تتصل دفاعتان متطابقتان أو أكثر على التوالي وغالبا على عمود إدارة رأسي. ويكون التصرف الكلى هو نفس تصرف المرحلة الواحدة ولكن الضاغط الكلي يساوى حاصل ضرب الضاغط للمرحلة الواحدة في عدد المراحل.

٢-٤-١- المضخات التوربينية للآبار العميقة Turbine Pump

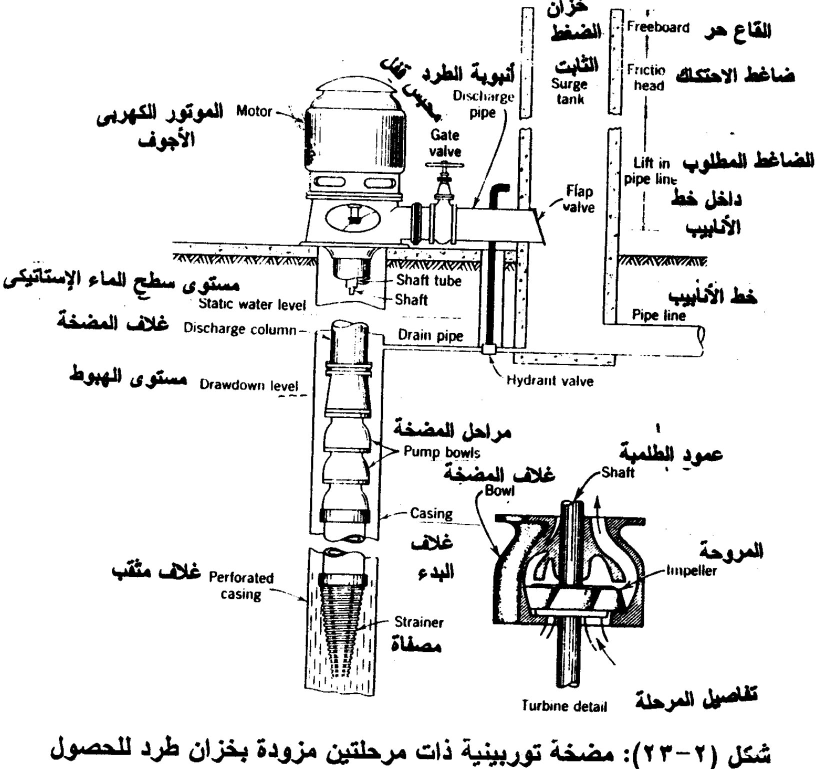
ومثال المضخة متعددة المراحل هو مضخة الآبار العميقة كما فى الشكلين رقم (٢-٢٢) ، (٢-٢٣)، وحيث أنها يلزم تركيبها فى غلاف البئر المحدد القطر، فإن القطر الكلى لمجموعة المضخة يجب أن يكون صغير نسبيا. وبذلك تكون الدفاعات صغيرة القطر، ويكون الضاغط الناشئ فى المروحة الواحدة صغيرا بسبب القطر الصغير للدفاعة، وبالتالى يلزم لمضخة الآبار العميقة أن يكون لها عدد من المراحل لكى تقوم برفع الماء إلى الإرتفاع المطلوب.

ويطلق على المضخات الطاردة المركزية الرأسية (محور الدوران رأسى) متعددة المراحل بالمضخات التوربينية *Turbine Pumps* حيث أن الأغلفة والطاسات لمضخة الآبار العميقة غالبا ما تكو توربينية (مركزية) وليست حلزونية، ويجب أن يوجه الماء عند خروجه من إحدى الدفاعات إلى الدفاعه التالية، فمن العادة استخدام ريش توجيه ثابته في الممرات الفاصلة. ويشكل الغلاف الثابت أحد حدود الجدار لممر العضو الدوار، والدفاعة غالبا ما تكون

ذات سريان مختلط وهي إما أن تكون مفتوحة أو مقفلة وتستخدم الدفاعات المفتوحة عندما تكون المادة المراد ضخها لها قابليه لسد ممرات الدفاعة المقفلة.



شكل (٢-٢٢): قطاع فى مضخة توربينية ذات محرك كهربى رأسى أجوف
Hollow - shaft



شكل (٢-٢٣): مضخة توربينية ذات مرحلتين مزودة بخزان طرد للحصول على ضغط ثابت عند مدخل خط أنابيب يعمل تحت ضغط منخفض

وفى المضخات التوربينية للآبار العميقة تكون الدفاعة معلقة رأسيا على عمود الإدارة وتكون أنبوبة الطرد طويلة. وتؤوى طاسة المضخة الدفاعة وريش التوجيه. ويطلق على المضخة بأنها متعددة المراحل حينما يكون لها عدة طاسات متصلة على التوالى للحصول على الضاغط الكلى المطلوب، وتوضع جميع هذه الطاسات تحت سطح الماء فى البئر. وتعتمد كفاءة هذه المضخة على مدى صغر الخلوص بين المروحة وغلاف المضخة حيث يعتمد الفاقد في التسرب على مدى الخلوص الموجود. وقد يزود رأس المضخة بسقاطه مسننة أو جهاز تعشيق التروس لمنع المضخة من الدوران فى الإتجاه المعاكس نتيجة التصرف العكسى عند إيقاف مصدر القدرة والذى يتسبب فى فك وتسيب بعض الملحقات ومن هذا يتضح أهمية وضع صمام عدم الرجوع *check valve* بعد المضخة مباشرة.

وتدار المضخة بواسطة محرك كهربائى أو محرك ديزل على سطح الأرض ويتصل بعمود إدارة رأسى طويل مثبت فى مكانه بواسطة سنادات أو محاور إرتكاز منشأه فى أنبوبة الطرد أوالتصرف.

ويتميز هذا النوع من المضخات بعدم حاجته لتفريغ الهواء منه عند بدء تشغيله (أى لا يحتاج إلى عملية تحضير) وذلك نظرا لأن المضخه تكون مغمورة فضلا عن مناسبتها للإستعمال عند وجود تذبذب كبير نوعا فى مستوى سطح الماء. أما عيبها فهو تعذر الوصول لبعض أجزائها وبالتالى صعوبة فحصها أومعاينتها.

ويرجع إنخفاض الكفاءة لهذا النوع من المضخات ذات العمود الرأسي إلى السماح باستمرار تشغيلها بدون إجراء إصلاحات بها وتآكل كراسى التحميل أوسطوح الإرتكاز بل أحيانا إلى حين توقفها عن العمل.

٢-٤-١-١- اختيار عمود المضخة التوربينية Shaft Selection

تنشأ قوى الدفع على العمود الرأسى للمضخة التوربينية نتيجة نوعين من قوى الدفع الأول يسمى بالدفع الأستاتيكى Static Thrust والثانى الدفع الهيدروليكى Hydraulic Thrust. والدفع الأستاتيكى ينشأ من وزن جميع الأجزاء الدورانية وهو ثابت مع الزمن سواء المضخة فى وضع تشغيل أو إيقاف. أما الدفع الهيدروليكى فهو ينشأ من القوى الهيدروليكية المحورية من دوران المراوح impellers أى فى حالة تشغيل المضخة فقط. ويتم اختيار قطر عمود المضخة Line shaft على أساس القدرة القصوى للمضخة Maximum Horse Power مع الأخذ فى الأعتبار تأثير قوى الدفع على عمود المضخة Pump Thrust وذلك عند سرعة دوران معينة (لفة/ دقيقة). وتقوم الشركات المصنعة للمضخات بعمل جداول جدول رقم (٢-١) لإختيار قطر عمود المضخة على أساس أن العمود الصلب Steel Shaft يتحمل أقل إجهاد للخضوع minimum Yield Strength ٤٠٠٠٠ رطل/ البوصة المربعة (٢٧٠٠ كجم/سم^2) وجهد شد Tensile Strength ٦٧٠٠٠ رطل/البوصة المربعة (٤٥٠٠ كجم/سم^2) وتحسب قوى الدفع الفعلية actual thrust لمضخة الآبار التوربينية من المعادلة التالية:

$$Thrust = K_H \ TDH + K_L \ LS + K_N \ NS$$

حيث:

$$K_H = K_h \frac{\pi}{4}(0.23 D_b)^2 \qquad kg_f/m \quad (lb_f/ft)$$

$$K_h = 5.3\times 10^{-3}\ Metric\ units$$

$$= 2.3\ English\ Units$$

D_b = القطر الأسمى لغلاف المضخة بالمم (بوصة)
nominal diameter of pump column

$$K_L = K_l d_s^2 \qquad kg_f/m \quad (lb_f/ft)$$

$$K_l = 2.0\times 10^{-3} \qquad Metric\ units$$

$$= 2.85 \qquad English\ units$$

d_s = قطر عمود المضخة مم (بوصة) pump shaft

$$K_N = K_n D_b^3 \qquad kg_f (lb_f)$$

$$K_n = 2.76\times 10^{-7} \qquad Metric\ units$$

$$= 0.01 \qquad English\ units$$

حيث:

Thurst : قوى الدفع على عمود المضخة التوربينية للآبار العميقة كجم (رطل).

TDH : الضاغط الديناميكى الكلى الذى تعطيه المضخة متر (قدم)

LS : طول عمود المضخة متر (قدم)

NS : عدد مراحل المضخة number of pump stages or impellers

ويعتمد كل من عامل الضاغط K_H وعامل المراحل K_N على تصميم المروحة بالإضافة إلى قطر المضخة.

مثال:

احسب قوى الدفع الفعلى لمضخة توربينية لآبار عميقة تدور على سرعة ١٧٥٠ لفة/ دقيقة وقطر عمود المضخة $\frac{٣}{١٦}$١ بوصة إذا كان قطر المضخة ١٢ بوصة وعدد المراحل ٥ وطول عمود المضخة ٧٠ قدم والضاغط الديناميكى الكلى ٢٥٨قدم.

الحل:

$$K_H = 2.3\,\frac{\pi}{4}(0.23\times 12)^2 = 13.76 \qquad lb_f\,/\,ft$$

$$K_L = 2.85\left(1\frac{3}{16}\right)^2 = 4.0 \qquad lb_f\,/\,ft$$

$$K_N = 0.01(12)^3 = 17.28 \qquad lb_f$$

$$Thrust = K_H\ TDH + K_L\ LS + K_N\ NS$$
$$= 13.76\times 258 + 4.0\times 70 + 17.28\times 5 = 3901.4\ \ lb_f$$

وبالنظر فى جدول رقم (٢-١) أمام قطر العمود $\frac{٣}{١٦}$١ بوصة نجد أن أقصى قدرة يمكن أن ينقلها عند سرعة ١٧٥٠ لفة/دقيقة هى ٨٢ حصان وأن أقصى قوى دفع مسموح بها Thrust هى ٥٤٠٠ رطل بالمقارنة بقوى الدفع المحسوبة الفعلية وهى ٣٩٠١,٤ باوند.

٢-٤-١-٢- اختيار قطر غلاف المضخة Column Selection

يعتمد الفاقد فى الضغط نتيجة الاحتكاك فى غلاف المضخة على قطر غلاف المضخة وقطر عمود المضخة والتصرف المار بالمضخة بالإضافة إلى طول غلاف المضخة كما فى الجدول رقم (٢-٣). ويتم تصميم قطر المضخة Pump Column على أساس تقريبى بحيث لايتعدى الفاقد فى الاحتكاك فى غلاف

المضخة عن ٥ متر/١٠٠ متر (٥قدم/ ١٠٠ قدم). ويجب أن يقل قطر غلاف المضخة Pump bowl عن قطر أنابيب تغليف البئر Casing أى يترك خلوص مقداره ١ بوصة حول غلاف المضخة. ويحسب قطر أنابيب تغليف البئر بحيث أن السرعة الرأسية للمياه فى البئر لاتزيد عن ٣قدم/ ثانية. والجدول رقم (٢-٢) يوضح العلاقة بين قطر أنابيب تغليف البئر وقطر المضخة وكمية إنتاج البئر (التصرف).

جدول (٢-١) أقصى قدرة بالحصان يمكن أن ينقلها عمود المضخة التوربينية وكذلك أقصى قوة دفع يتحملها العمود وذلك عند سرعة دوران مختلفة.

قطر عمود المضخة بالبوصة	أقصى قوة دفع يتحملها عمود المضخة Thrust		سرعة دوران العمود لفة/ دقيقة			
			١٤٥٠	١٧٥٠	٢٩٠٠	٣٤٥٠
Shaft	باوند	كيلوجرام	أقصى قدرة يمكن أن ينقلها عمود المضخة بالحصان			
٣/٤	٢٠٠٠	٩٠٦	١٦	١٩	٣٢	٣٨
١	٣٧٠٠	١٦٧٦	٤٠	٤٨	٨٠	٩٦
١ ٣/١٦	٥٤٠٠	٢٤٤٦	٦٧	٨٢	١٣٥	١٦٣
١ ٧/١٦	٧٩٠٠	٥٣٠٠	١٢١	١٤٥	٢٤١	٢٩٠
١ ١١/١٦	١١٧٠٠	٥٣٠٠	٢٢٠	٢٦٥	٤٤٠	٥٣٠
١ ١٥/١٦	١٤٧٠٠	٦٦٥٩	٣٠٥	٣٦٥	٦١٠	٧٤٠
٢ ٣/١٦	١٩٢٠٠	٨٩٦٨	٤٥٥	٥٤٥	٩٠٠	
٢ ٧/١٦	٢٤٤٠٠	١١٠٥٣	٦٤٥	٧٩٠	١٢٩٠	
٢ ١١/١٦	٣٠٠٠٠	١٣٥٩٠	٨٩٠	١٠٦٠		
٢ ١٥/١٦	٣٦٢٠٠	١٦٣٩٩	١١٧٠	١٤٠٠		

جدول (٢-٢)العلاقة بين قطر أنابيب تغليف البئر وقطر المضخة وكمية الإنتاج

الإنتاج المتوقع م³/س	القطر الأسمى لمراوح المضخة (بوصة)	القطر المناسب لأنابيب التغليف (بوصة)	الحد الأدنى لقطر أنابيب تغليف البئر (بوصة)
أقل من ٢٣	٤	٦ (قطر داخلى)	٥(قطر داخلى)
١٧ - ٤٠	٥	٨ (قطر داخلى)	٦(قطر داخلى)
٣٤ - ٩١	٦	١٠(قطر داخلى)	٨(قطر داخلى)
٨٠ - ١٤٨	٨	١٢(قطر داخلى)	١٠(قطر داخلى)
١٣٦ - ٢٠٥	١٠	١٤(قطر خارجى)	١٢(قطر خارجى)
١٩٣ - ٢٩٥	١٢	١٦(قطر خارجى)	١٤(قطر خارجى)
٢٧٣ - ٤٠٩	١٤	٢٠(قطر خارجى)	١٦(قطر خارجى)
٣٦٤ - ٦٨٢	١٦	٢٤(قطر خارجى)	٢٠(قطر خارجى)

جدول (٢-٣) الفاقد في الاحتكاك في غلاف المضخة Pump Column Pipe قدم/١٠٠ قدم

قطر المضخة بالبوصة	قطر العمود أو أنبوبة غلاف العمود بالبوصة	التصرف جالون/ دقيقة ١٠٠	٢٠٠	٤٠٠	٦٠٠	٨٠٠	١٠٠٠	١٥٠٠	٢٠٠٠	٣٠٠٠	٤٠٠٠	٥٠٠٠
		الفاقد في الاحتكاك قدم/ ١٠٠ قدم										
٦	١ ١/٤	٠,١٧	٠,٥٩	٢,٠٥	٤,٢	٧,٠٠						
	١ ١/٢	٠,٢١	٠,٧٣	٢,٥٥	٥,٣٠	٩,٠٠						
	٢	٠,٢٨	٠,٩٦	٣,٣٠	٦,٨٠							
	٢ ١/٢	٠,٤٠	١,٤٠	٤,٧٥	٩,٦							
	٣	٠,٦٥	٢,٢٠	٧,٦٠								
٨	١ ١/٤				٠,٦٤	١,٠٨	١,٦٠	٣,٣٧	٥,٦٥			
	١ ١/٢			٠,٣٥	٠,٧٣	١,٣	١,٩	٣,٩٠	٦,٧٠			
	٢			٠,٦١	١,٢٨	٢,١٧	٣,٢٢	٦,٨٠				
	٢ ١/٢			٠,٧٤	١,٥٢	٢,٦٠	٣,٩٠	٨,٢٠				
	٣		٠,٢٩	١,٠٠	٢,١٠	٣,٦٠	٥,٤٠					
١٠	١ ١/٢				٠,٣١	٠,٥١	٠,٧٧	١,٥٩	٢,٦٩	٥,٦٥		
	٢				٠,٣٣	٠,٥٧	٠,٨٥	١,٨٠	٣,٠٢	٦,٤		
	٢ ١/٢			٠,١٩	٠,٣٠	٠,٦٥	٠,٩٩	٢,٠٦	٣,٥٠	٧,٢٥		
	٣			٠,٢٢	٠,٤٥	٠,٧٧	١,١٧	٢,٤٧	٤,٢٥	٨,٩٥		
	٤			٠,٣٥	٠,٧٤	١,٣٠	١,٩٠	٣,٩٠	٦,٧٠			
١٢	٢						٠,٣٤	٠,٧١	١,٢٠	٢,٥٠	٤,٢٠	٦,٤٠
	٢ ١/٢					٠,٢٥	٠,٣٨	٠,٨٠	١,٣٦	٢,٨٧	٤,٨٠	٧,٣٠
	٣					٠,٢٩	٠,٤٤	٠,٩٣	١,٥٧	٣,٣٠	٥,٦٥	٨,٥٥
	٤				٠,٢٤	٠,٤٠	٠,٦٠	١,٣٠	٢,١٠	٤,٥٥	٧,٨٥	
	٥				٠,٣٤	٠,٥٧	٠,٨٥	١,٨٠	٣,٠٠	٦,٤٠		
١٤	٢							٠,٤٦	٠,٧٧	١,٥٩	٢,٧٠	٤,٠٥
	٢ ١/٢						٠,٢٣	٠,٤٨	٠,٨١	١,٦٨	٢,٩٠	٤,٣٥
	٣						٠,٢٧	٠,٥٥	٠,٩٢	١,٩٠	٣,٢٠	٤,٨٠
	٤					٠,٢١	٠,٣٢	٠,٦٦	١,١٠	٢,٢٠	٣,٨٥	٥,٨٠
	٥					٠,٢٧	٠,٤٠	٠,٨٢	١,٣٨	٢,٨٧	٤,٨٥	٧,٢٠

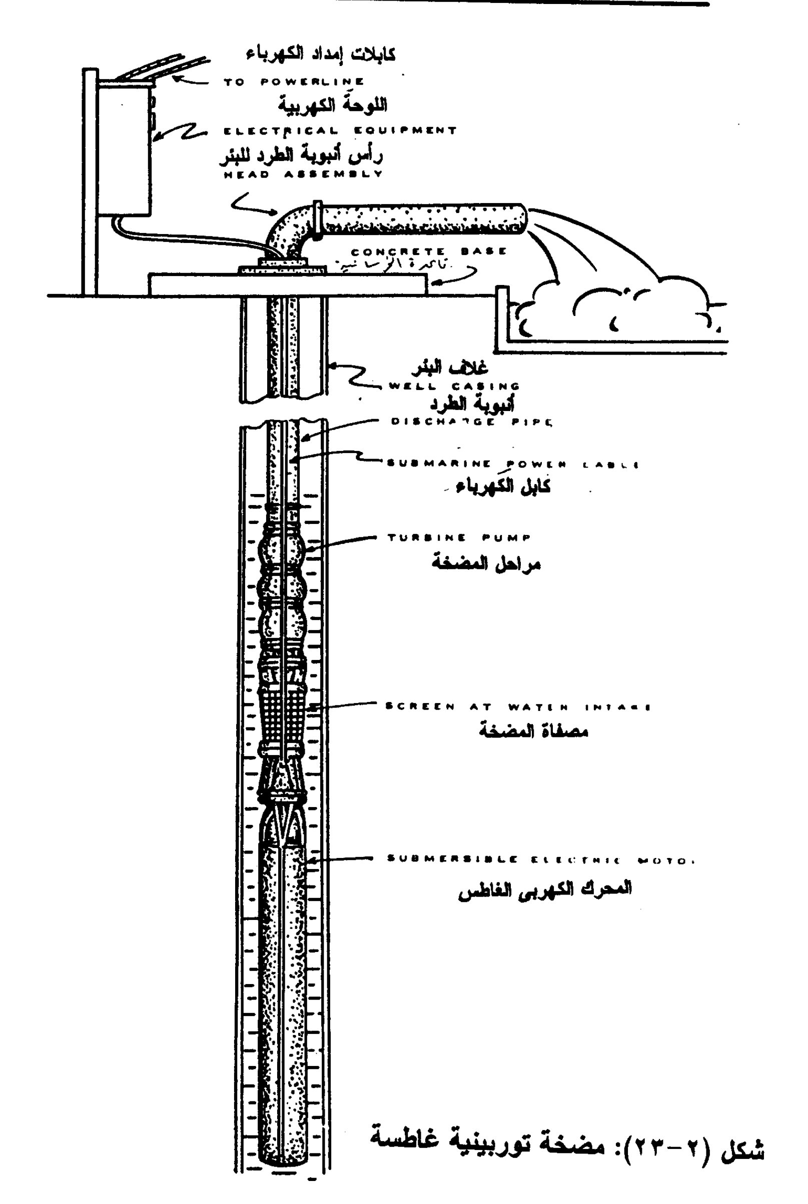
م³/س = ٤,٤ جالون/ دقيقة ١جالون/ دقيقة = ٠,٠٦٣ لتر/ث

٢-٤-٢- المضخات الغاطسة Submersible Pumps

تسمى مضخة الأعماق التوربينية بالمضخة الغاطسة إذا اتصل بها المحرك الكهربي من أسفل أي يكون المحرك الكهربى غاطسا تحت سطح الماء كما فى الشكل رقم (٢-٢٤). وتزداد كفاءة هذا النوع بسبب اتصاله المباشر وتبريده الفعال الناتج عن الغمر الكامل مما يسمح بخفض مقدار الحديد والنحاس الموجود بقلب المضخة وتوفير عمود الإدارة الطويل.

وقد استعملت المضخات الغاطسة في الآبار التى يصل عمقها أكثر من ألف متر، كما واستعملت وحدات تصل مراحلها إلى أكثر من ٢٥٠ مرحلة. واستعملت محركات غاطسة تصل قدرتها إلى ٢٥٠ حصان وقطر غلافها ٢٠سم كما يوجد محركات ذات قدرة أكبر ولها غلاف بقطر أكبر، وتتاح المضخات للآبار التى يبلغ قطرها ١٠سم فأكثر.

والميزة الرئيسية للمضخات الغاطسة هى إمكان إستعمالها فى الآبار العميقة جدا حيث تصبح الأعمدة الطويلة غير عملية. وقد تستعمل المضخات الغاطسة أيضا عندما يكون من المرغوب فيه وضع تجهيزات المضخة تحت سطح الأرض كأن يكون من غير المريح أو غير المقبول الشكل أو معرض للخطر إذا وضع فوق سطح الأرض.



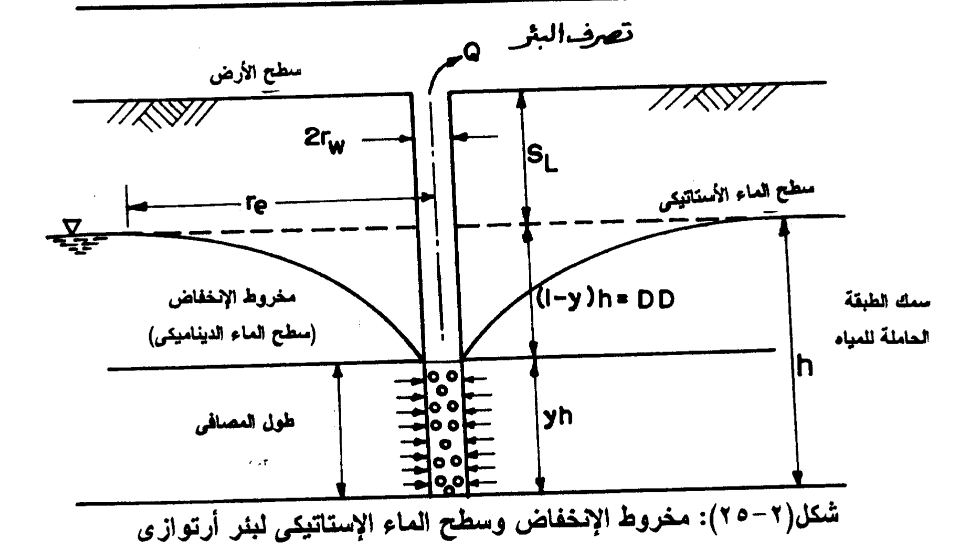
شكل (٢-٢٣): مضخة توربينية غاطسة

-Submersible pump.

الضخ من الآبار Pumping From Wells

يهدف تصميم البئر إلى الحصول على أقصى إنتاج من البئر بالنسبة للمتر الطولى من عمق الحفر ويتحقق ذلك عندما يساوى مقدار الهبوط فى مستوى الماء داخل البئر drawdown نصف سمك الطبقة الحاملة للمياه أو بمعنى آخر نصف عمق إختراق البئر للطبقة الحاملة للمياه كما فى الشكل . ولكن عند عمل التحليل الاقتصادى لحفر البئر وتركيب المضخة والعمر الإفتراضى لكل منهم والتكاليف الثابتة وتكاليف التشغيل فإ نتيجة التحليل تكون نحو تعميق البئر بطر أكبر للمصفاة Screen وبمقدار هبوط أقل Drawdown. فإذا أفترضنا أن نسبة إختراق الطبقة الحاملة للمياه هى Y وأن سمك الطبقة الحاملة للمياه هو h فإن طول المصفاة هو yh ومقدار الهبوط DD يساوى $DD = (1-y)\,h$ وعمق مستوى الماء الإستاتيكى من سطح الأرض يساوى SL.

وأفضل فرض يمكن وضعه عند تصميم البئر هو إفتراض أن البئر من النوع الأرتوازى (المحصور) ذو السريان المستقر Steady-State artesian conditions. وسوف نفترض أيضاً أن يخترق الطبقة الحاملة للمياه إختراقاً تاماً Full Penetration رغم أن ذلك غالباً لا يتحقق ولكن هذه الفروض تقوم بتبسيط الحل.



شكل(٢-٢٥): مخروط الإنخفاض وسطح الماء الإستاتيكى لبئر أرتوازى

وبدراسة هيدروليكية البئر المحصور يمكن إيجاد التصرف المستقر بمعلومية الخواص الهيدروليكية للطبقة الحاملة للمياه وسوف تقتصر هنا على المحاولة النهائية ويمكن إيجاد الإستنتاج بسهولة فى أى مرجع للمياه الأرضية أو إستنتاجه من الشكل (٢-٢٥).

$$Q=\frac{2\pi K h^2 (y-y^2)}{ln\frac{r_e}{r_w}}$$

حيث:

Q: تصرف البئر م^3/ث

h : سمك الطبقة الحاملة للمياه بالمتر.

K : نفاذية الطبقة الحاملة للمياه (متر/ث).

وهـى تـتراوح بيـن ٤م/يـوم (٤,٦٣ × ١٠ ^-٥^ م/ث) للحجـر الرملـى sandstone إلى ٤٠م/ يوم للرمل sand.

y : نسبة إختراق الطبقة الحاملة للمياه تحت مستوى الماء الديناميكى.

yh : طول المصفاة بالمتر screen length

r_e : نصف قطر دائرة التأثير للبئر وهو يتراوح بي ١٠٠ إلى ١٠٠٠ متر.

r_w : نصف قطر البئر بالمتر

فغالباً ما يكون تصرف البئر معلوم والمطلب هو إيجاد طول المصفاة yh.

مثال:

بئر تصرفه ٢٠٠ م^٣^/س وكان عمق المـاء الإستاتيكى ١٥ متر ومعامل النفاذية للطبقة الحاملة للمياه ٤٠ م/يوم (٤,٧٢ × ١٠ ^-٤^ م/ث) ونصف قطر دائرة التأثير للبئر ٣٠٥ متر ونصف قطر البئر ٣٠سم. ونسبة إختراق الطبقة الحاملة للمياه تحت مستوى الماء الديناميكى $y = 0.83$ أوجد طول المصفاة التى تخترق الطبقة الحاملة للمياه.

الحل:

$$Q=\frac{2\pi K h^2 (y-y^2)}{ln\frac{r_e}{r_w}}$$

$$\frac{200}{60\times 60}=\frac{2\pi\times 4.72\times 10^{-4}\,h^2(0.83-0.83^2)}{ln\frac{305}{0.3}}$$

$$h^2=\frac{0.0555\times(6.9243)}{29.656\times 10^{-4}\times 0.1411}=918.3945$$

$$h=30.3m$$

وحيث أن عمق الماء الإستاتيكي $SL = 15\ m$

فإن عمق البئر = ٣٠,٣ + ١٥ = ٤٥,٣ متر.

وأن طول المصفاة yh يساوى

$$yh=0.83\times 30.3=25.15m$$

ومقدار الهبوط DD يساوى

$$DD=(1-y)h$$
$$=(1-0.83)\ 30.3=5.15\ m$$

وكما يتضح فإنه يمكننا الحصول على علاقة بين قيمة y , DD وأيضاً Q والعلاقة بين تصرف البئر ومقدار الإنخفاض Drawdown مهمة جداً في تصميم المضخة حيث أن مقدار الضاغط الديناميكي الكلى المطلوب من المضخة يتحدد بمقدار الإنخفاض DD وقدرة المضخة تتحدد بمقدار كل من الإنخفاض DD والتصرف Q. ولهذا فإننا يمكننا بالتعويض عن عدة قيم لنسبة إختراق الطبقة الحاملة للمياه y نحصل على عدة قيم للإنخفاض DD المقابلة لها ومنها نعوض في المعادلة للحصول على قيمة Q المناظرة لقيم y.

٢-٤-١-٣- تحديد الضاغط الديناميكى الكلى لمضخات الآبار Well Pumps

كما هو واضح من الشكل رقم (٢-٢٦) يتحدد الضاغط الديناميكى الكلى لمضخة الآبار بمجموع الضغوط الآتية:-

١- عمق سطح الماء الإستاتيكى بالبئر (SL).

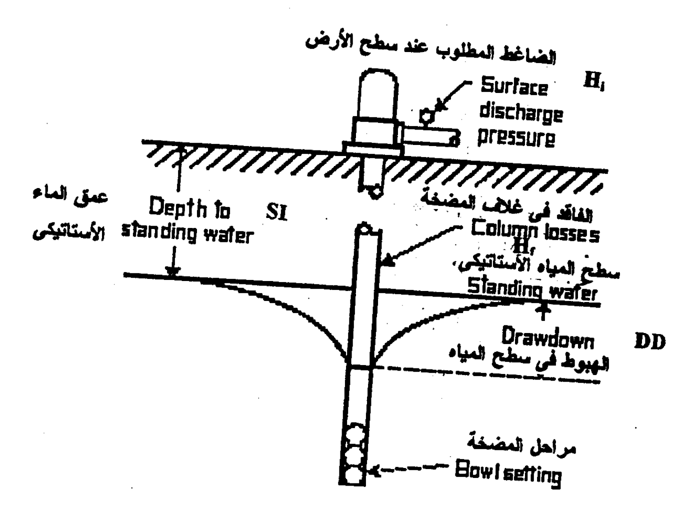
٢- الضاغط المطلوب من المضخة عند سطح الأرض (H_i).

٣- الفاقد داخل غلاف المضخة H_f ويتم تحديده بالإستعانة بجدول رقم (٢-٣).

٤- الهبوط فى سطح المياه نتيجة الضخ DD.

وبذلك يكون الضاغط الديناميكى الكلى لمضخة الآبار TDH كما يلى:

$$TDH = SL + H_i + H_f + DD$$



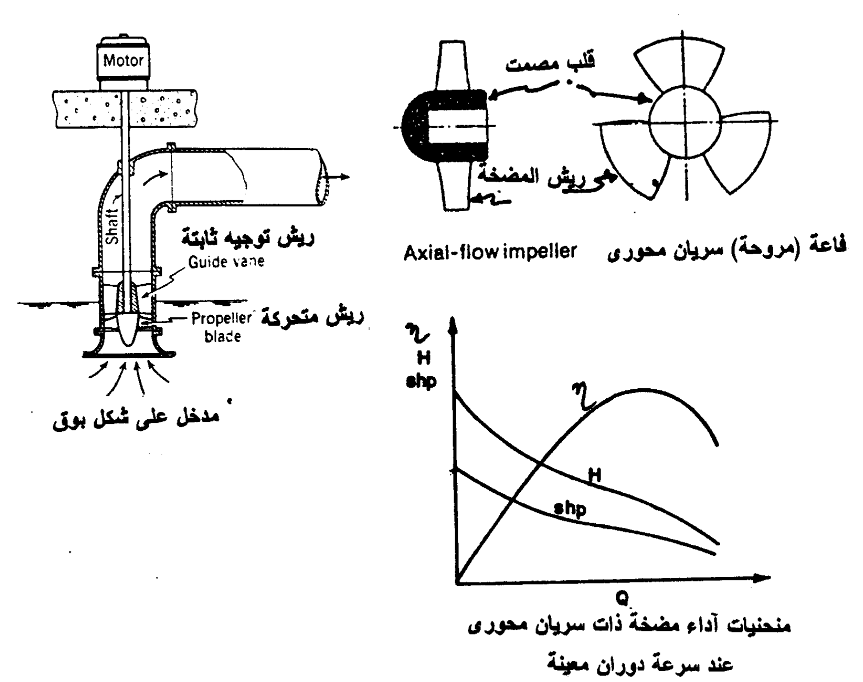
شكل (٢-٢٦): حساب الضاغط الديناميكى الكلى لمضخات الآبار

٢-٥- المضخات المحورية (الطلمبات ذات السريان المحورى)

Propeller Pumps or axial Flow Pumps

٢-٥-١- الوصف والآداء

ينطبق على المضخات المحورية ما سبق دراسته على المضخات الطاردة المركزية مع مراعاة أنها تعطى تصرفات أكبر وضاغط أقل من ١٢متر ماء. ونظرا لإختلاف شكلها فإن شكل منحنيات آدائها يختلف عن منحنيات آداء المضخات الطاردة المركزية، والأشكال (٢-٢٧) توضح الأجزاء الرئيسية المكونة للمضخة المحورية ومنحنيات آدائها.



شكل (٢-٢٧): المضخات المحورية

ويلاحظ من منحنيات الأداء أن معدل النقص فى الضاغط مع زيادة التصرف أكبر منه فى حالة المضخات الطاردة المركزية وأن قدرة العمود اللازمة لتشغيل المضخة تكون أكبر ما يمكن عند تصرف صفر (أى عندما يكون محبس الطرد مغلق بالكامل)، ولذلك يراعى فتح المحبس بالكامل عند بدئ تشغيل المضخة بعكس مضخات الطرد المركزى. ونلاحظ أيضاً أن القدرة تقل بزيادة التصرف بعكس مضخات الطرد المركزى. وتأثير زيادة السرعة فى هذا النوع من المضخات يؤدى إلى رفع منحنى الضاغط المانومترى والقدرة كما فى حالة المضخات الطاردة المركزية.

الريش المتحركة تكون مشابهة للمروحة المستخدمة فى السفن (الرفاصات). أما ريش التوجيه الثابتة فإنها تستخدم لتوجيه المياه فى إتجاه المحور عند دخولها إلى المروحة ولكى تعطى بقدر الإمكان السرعة عند المخرج الإتجاه المحورى.

والمضخات المحورية لا تحتاج لتحضير حيث أنها تعمل دائما تحت سطح السائل (غاطسة)، وتستخدم هذه المضخات فى محطات صرف المجارى - والصرف الزراعى - وقد تستخدم لرفع المياه عند رافع استاتيكى منخفض حيث تعطى تصرف كبير.

٢-٥-٢- تحديد العمق المغمور للمضخات الرأسية Submergence

يجب أن تغمر مراحل المضخات الرأسية تحت سطح المياه وذلك لأن الدوران الجاف للمراوح يسبب تلفها من جراء إرتفاع درجة حرارتها والشكل رقم

(٢-٢٨) يوضح أبعاد تركيب المضخة الرأسية فى بيارة السحب والجزء المغمور K_s من المعادلة الآتية:

$$K_s = \frac{0.64Q}{D^2}$$

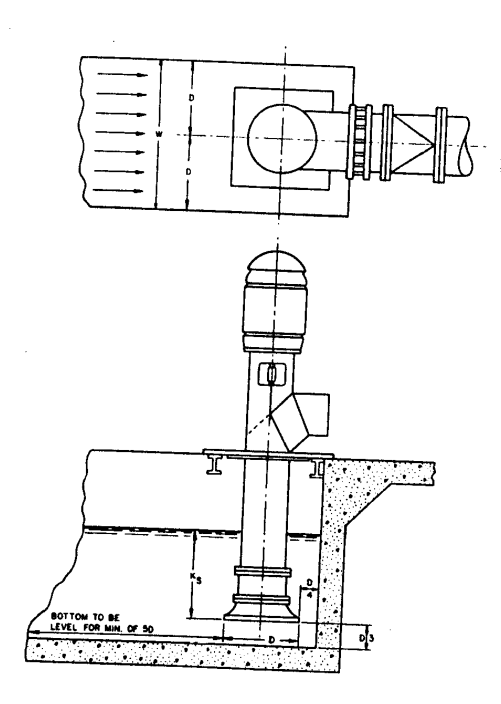
حيث:

K_s: العمق المغمور بالمتر.

Q : تصرف المضخة م^3/ث

D : قطر الأنبوبة متر

وهذا الجزء المغمور مهم من ناحية منع حدوث دوامات Vortex Suppression فحدوث الدوامات يتسبب فى دخول الهواء مع الماء وحدوث التكهف وبالتالى تخفيض التصرف والضغط الذى تعطيه المضخة بالإضافة إلى تلف المراوح وحدوث ضوضاء واهتزازات بالمضخة. كما يجب أن تصمم البيارة أيضاً بحيث تتراوح سرعة دخول المياه إليها من ٠,٣ إلى ٠,٦ متر/ثانية وأن يتم تسوية أفقية قاع البيارة بما لايقل عن ٥ أضعاف قطر فانوس ماسورة السحب. ويجب التأكد من أن العمق المغمور K_s والمحسوب من المعادلة السابقة يضمن تغطية مراحل المضخة أو مروحة المضخة فى حالة المرحلة الواحدة كما يجب أن يزيد عن صافى ضاغط السحب الموجب NPSH كما هو وارد فى كتالوج الشركة المصنعة لضمان عدم حدوث التكهف.



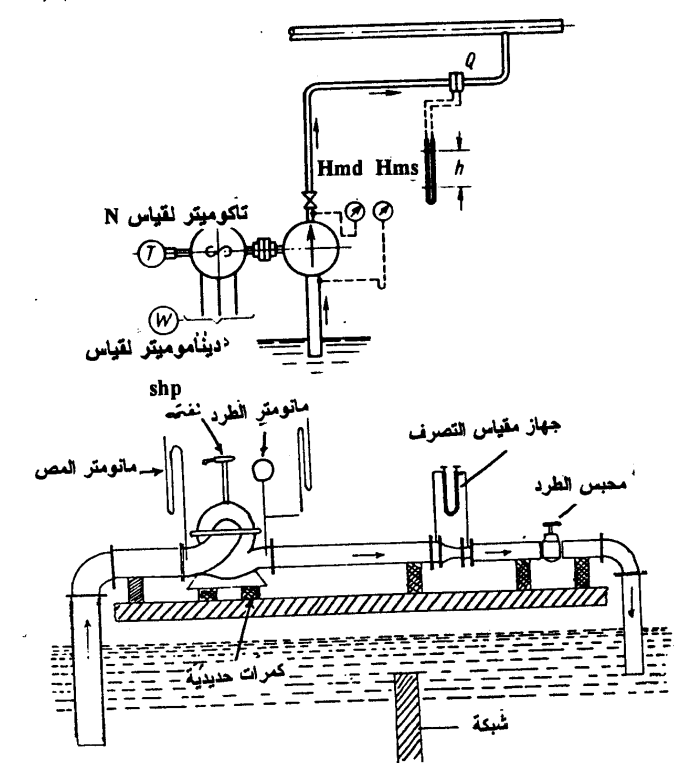
شكل (٢-٢٨): تحديد الجزء المعمور K_s للمضخات الرأسية

٢-٦- منحنيات آداء المضخات

بإجراء إختبارات فعليه علـى مضخة مـا Pump Testing يمكن الحصول على مجموعة منحنيات تعبر عن تغير كل من القدره shp والضـاغط H والكفاءه η مع التصرف وذلك عند سرعة دوران N معينه وتسمى هـذه المنحنيات بمنحنيات خـواص المضخه Characteristic Curve أو منحنيات الآداء للمضخه Performance Curves. حيث أن المضخات الطاردة المركزيه يمكن تغيير

تصرفها الذي تعطيه من صفر إلى حد أقصى معين حسب فتحة محبس الطرد throttling أى حسب المقاومة الموجودة فى خط الأنابيب. لذلك فإن الشركات المنتجه للمضخات تقوم بعمل إختبار للمضخه ووضع نتائج الإختبار فى صورة منحنيات آداء أو فى صورة جداول وتعطى فى كتالوج المضخة.

ويتم الإختبار عند سرعة دوران معينه N تقاس بواسطة جهاز التاكوميتر Tachometer ويتم إجراء القياسات الآتيه كما هو مبين فى الشكل رقم (٢-٢٩):



شكل (٢-٢٩): أجهزة اختبار المضخة لإيجاد منحنيات الآداء عند سرعة دوران معينة

۱- قياس التصرف Q بواسطة الطريقه الحجمية أو فرق الضغط (h) قبل وبعد فتحة القياس.

۲- قياس الضاغط H_m وذلك بتسجيل قراءة عدادات الضغط قبل وبعد المضخه. حيث:

$$H_m = H_{md} - H_{ms}$$

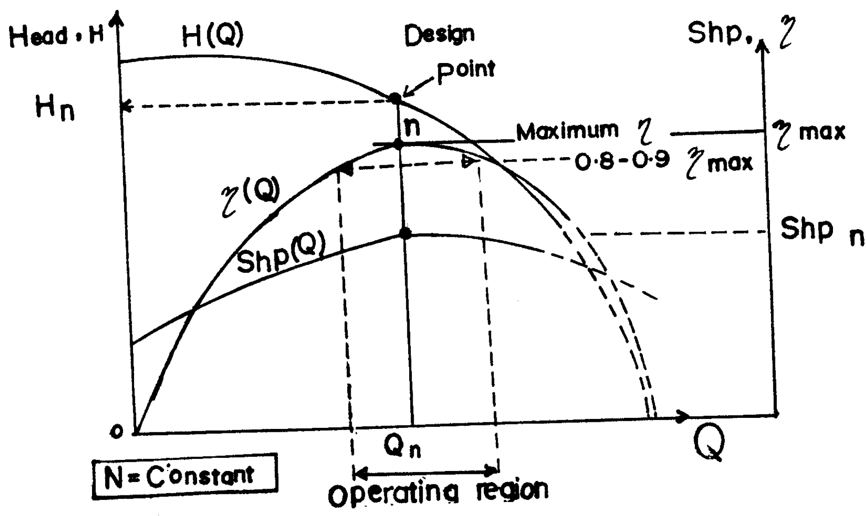
۳- قياس قدرة العمود shp وذلك إما بواسطة جهاز القدره الدينامومیتر Dynamometer أو باستخدام محرك كهربى تم معايرته وقياس القدرة الكهربائية المستهلكه بالكيلووات وعن طريق معرفة كفاءة المحرك يمكن إيجاد قدرة العمود. ثم نكرر التجربة بتغيير التصرف بواسطة محبس الطرد Throttling مع حساب كفاءة المضخة عند كل تجربه من المعادله الآتية:

$$\eta = \frac{\gamma Q H_m}{Shp}$$

وتدون القراءات فى جدول كالآتى:

		N = constant				
Q	✓	✓	✓	✓	✓	✓
H_m	✓	✓	✓	✓	✓	✓
shp	✓	✓	✓	✓	✓	✓
η	✓	✓	✓	✓	✓	✓

وعادة ترسم هذه المنحنيات بين التصرف (على المحور الأفقى) والضاغط المانومترى الذى تعطيه المضخة, كفاءة المضخة, قدرة العمود المطلوبة لإدارة العمود (على المحور الرأسى) عند سرعة دوران ثابته كما فى الشكل رقم (۲-۳۰).



شكل (٢-٣٠): منحنيات آداء مضخة طاردة مركزية

من المنحنى شكل (٢-٣٠) نلاحظ أن الضاغط المانومترى الذى تعطيه المضخه يقل بزيادة التصرف. وأن الكفاءه تكون أكبر ما يمكن عند نقطة تصميم المضخة Design Point وتقل إذا ابتعدنا عن هذه النقطة لذلك يجب دائماً استخدام المضخه بحيث تكون نقطة تشغيلها فى المدى من ٨٠٪ إلى ٩٠٪ من قيمة أقصى كفاءة أى يكون التصرف المار أقرب ما يمكن إلى $Q_{normal}\left(Q_n\right)$ الموضحه بالرسم. ونلاحظ أيضا أن القدره تكون أقل ما يمكن عند (Q = zero) التصرف صفر أى عندما يكون محبس الطرد مغلق بالكامل؛ وتزداد بزيادة التصرف إلى حد أقصى معين ثم تبدأ في الإنخفاض، وتكون نقطة أقصى استهلاك للقدره قريبه عادة من نقطة أقصى كفاءة. ولهذا السبب فإنه فى بداية تشغيل المضخه الطارده المركزيه يقفل محبس الطرد تماما وتدار المضخه فتكون القدره المطلوبه فى

البدايه أقل ما يمكن ثم يفتح صمام الطرد تدريجيا للحصول على التصرف المطلوب ويحدث ذلك إذا كان ضغط الطرد الإستاتيكى كبيرا . ومن المنحنى أيضا نرى أنه إذا حدث أي زياده في الحمل على موتور التشغيل over load وذلك يظهر من السخونه غير الطبيعيه فى الموتور فإنه يمكن تقليل الحمل بإغلاق محبس الطرد جزئيا مما يقلل التصرف وبالتالى يقلل الحمل على الموتور.

ويسمى الضاغط الذى يناظر تصرف مقداره صفر بضاغط الإيقاف shut-off head, كما نلاحظ من المنحنى أيضا أنه بزيادة التصرف يقل الضغط لسرعة دوران معينه, فإن الكفاءة تكون أكبر ما يمكن لقيمه محددة للتصرف أو للضاغط هى القيمه العادية عند النقطه n.

$$@\eta_{max}.(Q_n, H_n, shp_n)$$

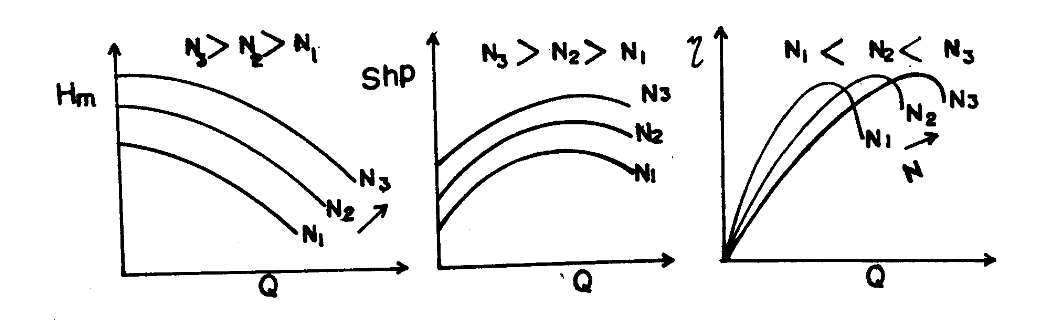
فبتغيير سرعة دوران المضخة عند ثبوت قطر المروحة يتغير آداء المضخة تبعا لقوانين المضخات النظرية Affinity laws كالآتى:

$$\frac{Q_2}{Q_1}=\frac{N_2}{N_1} \quad \frac{H_2}{H_1}=\left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 \quad \frac{Shp_2}{Shp_1}=\left(\frac{N_2}{N_1}\right)^3$$

أما عند تغيير قطر المروحه وثبات سرعة الدوران فإن:

$$\frac{Q_2}{Q_1}=\frac{D_2}{D_1} \quad \frac{H_2}{H_1}=\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 \quad \frac{Shp_2}{Shp_1}=\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^3$$

ويوضح شكل (٢-٣١) تأثير سرعة الدوران على منحنيات آداء المضخة: .



شكل (٢-٣١): تأثير التغير فى سرعة الدوران على منحنيات آداء المضخة

من الأشكال السابقه نجد أن زيادة سرعة الدوران ترفع الضاغط الذي تعطيه المضخة عند أى تصرف كنتيجى لزيادة القوى الطارده المركزيى بزيادة السرعة، وحيث أن القدرة اللازمة لتشغيل المضخة يمكن حسابها من المعادلة $\left(Shp = \frac{\gamma Q H_m}{\eta}\right)$ نجد أن القدرة المطلوبة لتشغيل المضخه عند تصرف معين تزداد نتيجة زيادة الضاغط. أما تأثير السرعه على كفاءة المضخه فإنه يكون طفيفا وعلى هذا نجد أنه يمكن الحصول على ضاغط أكبر من المضخه وبالتالى على تصرف أكبر إذا استخدم محرك ذو سرعه أكبر على نفس المضخة بشرط زيادة قدرته أيضا بحيث تتناسب مع القدره المطلوبه عند السرعه الأكبر.

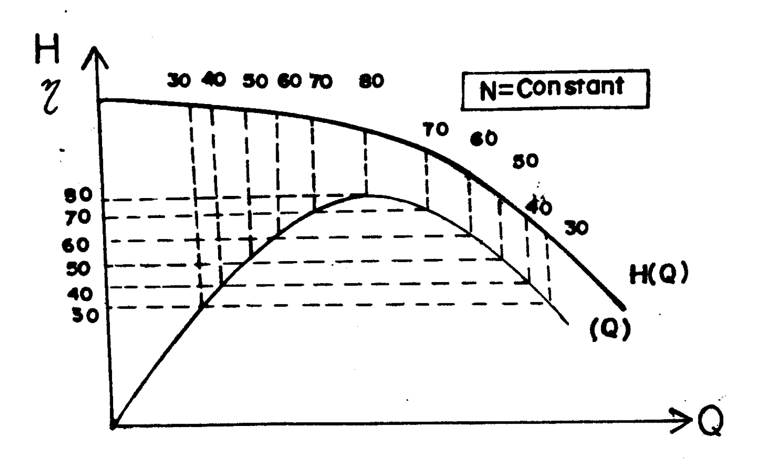
نفس الأشكال السابقة يمكن الحصول عليها إذا قمنا بزيادة قطر المروحه من D_1 إلى D_2 إلى D_3.

منحنيات آداء المضخه عند سرعات مختلفه:

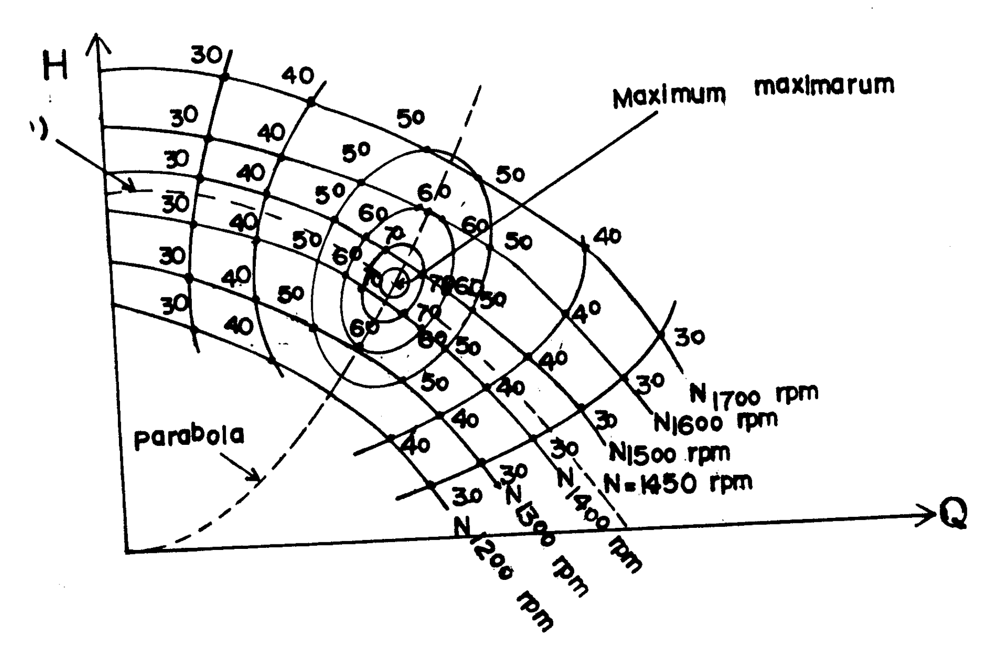
Iso efficiency Diagran or Oak- leaf Diagram

من منحنيات آداء المضخه H (Q) , η (Q)يمكن أن نحصل على منحنى واحد وهو H(Q) ومرقم عليه قيم الكفاءة المختلفة كما هو مبين فى شكل(٢-٣٢):

إذا قمنا بتكرار هذا العمل عند سرعات دوران مختلفة فإننا نحصل على منحنيات مختلفة (شكل ٢-٣٣) وبتوصيل نقط الكفاءات المختلفة نحصل على منحنيات تساوى الكفاءات وتشبه خطوط الكونتور وتسمى هذه المنحنيات Iso efficiency Diagran or Oak- leaf Diagram.



شكل (٢-٣٢): منحنى آداء المضخة مرقم عليه الكفاءات



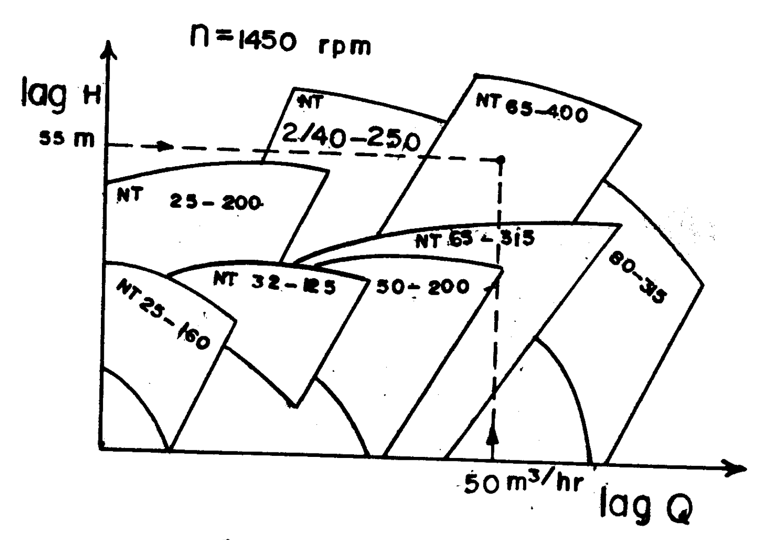
شكل (٢-٣٣): منحنيات تساوى الكفاءات

وتقوم الشركات المصنعه بعمل ما يسمى بمنحنيات إختيار المضخة Selection Diagram من بين المضخات التى تصنعها الشركه والموجوده داخل الكتالوج. فمثلا فى الشكل رقم (٢-٣٤). بمعلومية $H = 55m$, $Q = 50\ m^3/hr$ نحصل على نوع المضخه NT 65-400 . أى المضخه من طراز NT وقطر فتحة الطرد ٦٥مم وقطر المروحة ٤٠٠مم ويجب الإشارة إلى أن هذه المنحنيات عند سرعة ثابتة وهى ١٤٥٠ لفة/ دقيقة ومن هذه المعلومات يتم الحصول من الكتالوج على منحنيات آداء المضخة التى طرازها NT 65 - 400 وهى كما بالشكل رقم (٢-٣٥). ومن هذه المنحنيات يمكن الحصول على المعلومات الآتية:

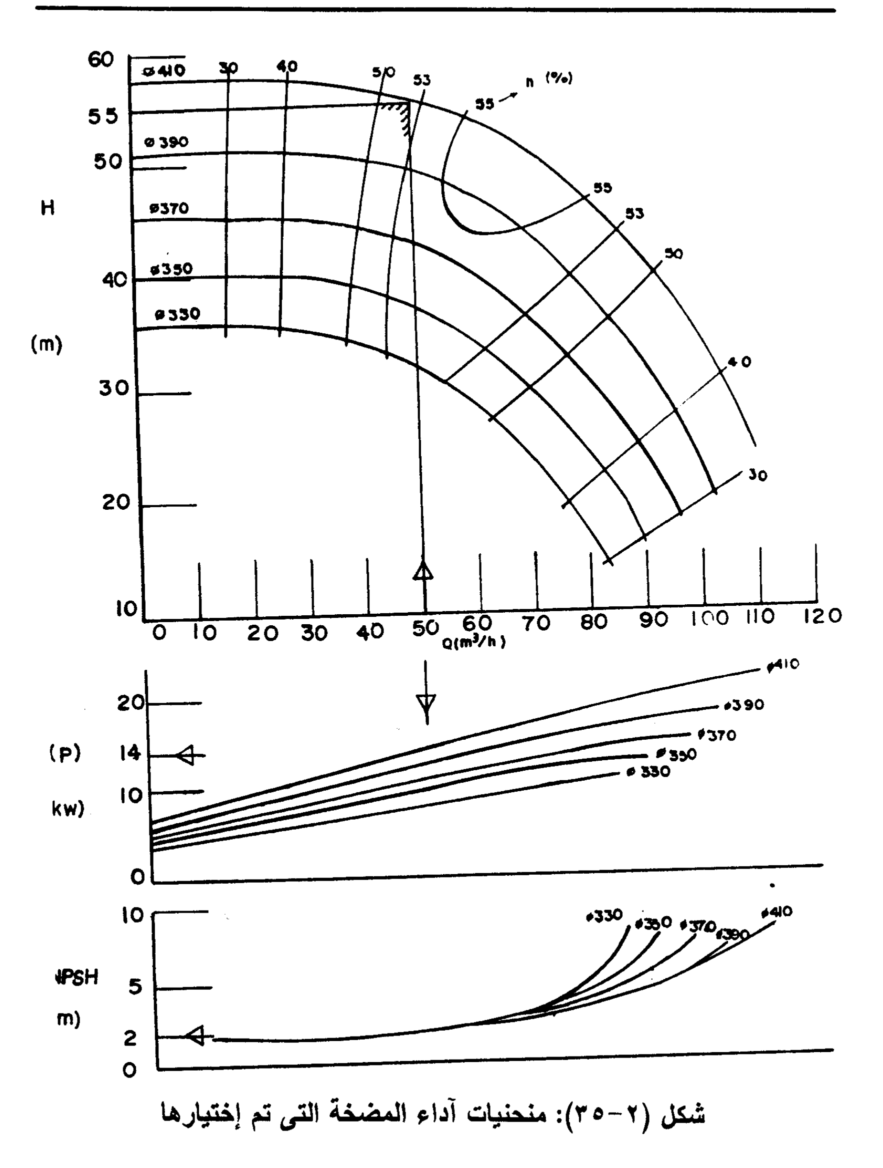
$Q = 50\,m^3/hr$
$H = 55\,m$

قطر المروحة المطلوبة ٤١٠مم $\phi\ 410$

كفاءة المضخة $\eta = 53\%$



شكل (٢-٣٤): منحنيات اختيار المضخة



شكل (٢-٣٥): منحنيات آداء المضخة التى تم إختيارها

وبالنزول على منحنى القدرة المطلوبة P(kw) لمروحة قطرها ٤١٠ مم نجد أن القدرة تساوى ١٤ كيلووات وبالنزول على منحنى صافى ضاغط السحب الموجب NPSH نجد أنه يساوى ٢ متر. وواضح أن نقطة تشغيل المضخة لاتقع تماماً عند نقطة أقصى كفاءة وهى ٥٥٪ بل تقع عند نقطة قريبة منها وهى ٥٣٪ كفاءة مما يدل على أننا فى بعض الأحيان لايمكننا تشغيل المضخة عند نقطة أقصى كفاءة وذلك حسب المضخات المتوافرة فى الأسواق وايضاً حسب نقطة التشغيل المطلوبة من شبكة الأنابيب وعند إختيار المحرك المطلوب فإن قدرته تزيد عن القدرة المطلوبة للمضخة ففى هذا المثال قدرة المحرك المضخة تساوى ١٤ × ١,٣٦ = ١٩ حصان وبالتالى تكون قدرة المطلوب لايقل عن ١٩ × ١,٢ = ٢٣ حصان أى محرك كهربى قدرة ٢٥ حصان.

مثال:

المطلوب إستنتاج منحنيات مضخه طارده مركزيه عند سرعة دوران ١٦٠٠لفه/د إذاعلمت أن آداء المضخه عند سرعة ٢٠٠٠لفه/د كانت كالآتى:

$N_1 = 2000\ rpm$

H_m	50	47	43	40	35	20
shp	0	30	60	90	125	140
η	0	50	77	80	70	35

الحل:

$$\frac{Q_2}{Q_1}=\frac{N_2}{N_1}=\frac{1600}{2000}=0.8$$

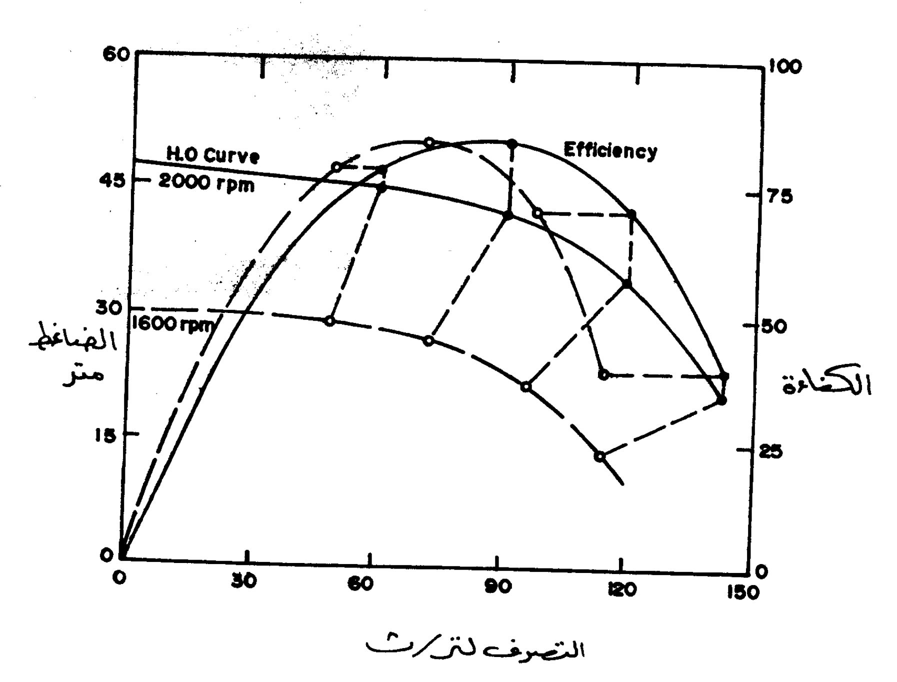
$$\frac{H_2}{H_1}=\left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2=\left(\frac{1600}{2000}\right)^2=0.64$$

$$\therefore Q_2=Q_1\times 0.8 \qquad \& \qquad H_2=H_1\times 0.64$$

نقوم بضرب قيم التصرف ف الجدول السابق فى معـامل ٠,٨ والضـاغط فى ٠,٦٤ عنـد نفس قيم الكفـاءات السـابقة فنحصـل علـى منحنيـات الآداء عنـد السرعة المطلوبة وهى ١٦٠٠ لفة/ د. كما هو مبين بالشكل (٢-٣٦).

$N_2 = 1600\ rpm$

H_m	32	30.08	27.25	25.6	22.4	12.8
shp	0	24	48	72	100	112
η	0	50	77	80	70	35



شكل (٢-٣٦) منحنيات الآداء عند سرعة دوران ١٦٠٠، ٢٠٠٠ لفة/د

٢-٧- التكهف فى المضخات Cavitation in Pumps

اذا إنخفض الضغط داخل المضخة أو فى أنبوبة السحب إلى ضغط يساوى أو أقل من ضغط بخار السائل عند درجة حرارة التشغيل فإن جزء من السائل يتبخر ويكون فقاعه من البخار تتحرك مع السائل داخل المضخه إلى نقطه ذات ضغط أكبر غير مناسب لوجود البخار فتنفجر فقاعة البخار تاركة فراغ يندفع باقى السائل لملئه فيصطدم بريش المروحة قرب منطقة الخروج بقوة اصطدام كبيرة مصحوبا بارتفاع فى درجات الحرارة و يؤدى ذلك إلى:

١- حدوث إهتزازات ميكانيكية بالمضخة.

٢- صوت طرقات متتالية.

٣- إنخفاض فى الضاغط والتصرف والكفاءة.

٤- بتكرار الظاهره مع دوران المضخه يحدث تآكل في المروحه والريش قرب منطقة الخروج ويشبه إلى حد كبير تسوس الأسنان Teeth Cavities لذا سميت هذه الظاهره بالتكهف.

ولتجنب هذه الظاهره يجب التأكد من أن أقل ضغط قبل المضخه أو داخلها يكون دائما أكبر من ضغط البخار؛ وحيث أن ضغط البخار يعطى دائما كقيمه مطلقه Absolute بينما تكون الحسابات الأخرى بالقيم المقاسه أو القياسيه فإنه لتجنب حدوث التكهف يكون:

$$\underset{gage\,Press}{P_{min}} > \underset{gage\,Press}{P_v - P_{atm}}$$

بالقسمه على γ حيث $P = \gamma . h$

$$h_{min} > h_v - h_{atm}$$

وبدراسة ديناميكية حركة السائل داخل المضخه وجد أن الضغط ينخفض قليلا داخل المضخه نتيجة الإحتكاك والدوامات قبل أن يبدأ في الإرتفاع مره أخرى بعد إكتساب الطاقه اللازمة من المروحة، وبقياس توزيع الضغط على الريش كما هو موضح بشكل (٢-٣٧):

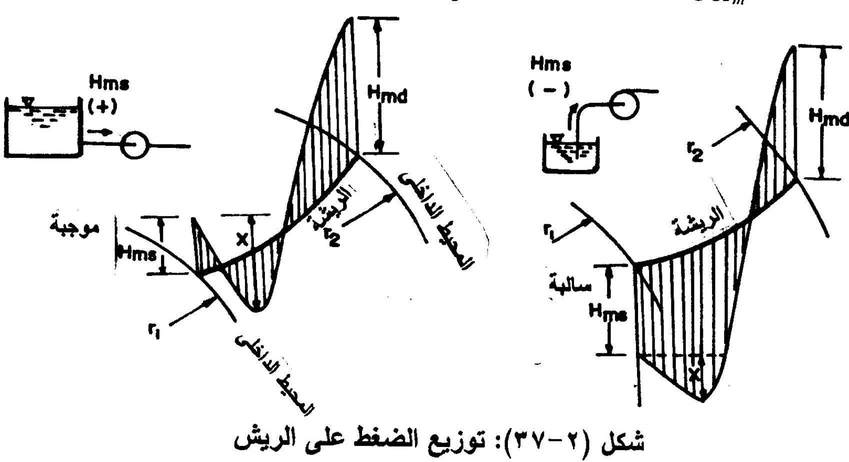
ويسمى الإنخفاض الذي يحدث في الضغط على الريشه بالإنخفاض الديناميكي للضغط Dynamic head defficiency (X) وتتناسب قيمته مع الضاغط المانومتري للمضخه.

$$X \alpha H_m$$

$$X = \sigma H_m$$

حيث σ يسمى بمعامل التكهف أو معامل توما للتكهف Thoma Cavitation Coefficient Coefficient حيث أن توما هو الذي إقترح التناسب السابق ومن الجدير بالذكر أنه يطلق على X أيضا بصافي ضاغط السحب الموجب المطلوب.

$$Net\ positive\ suction\ head\ required = NPSHR = X = \sigma H_m$$



شكل (٢-٣٧): توزيع الضغط على الريش

ويعتمد معامل توما على خواص المضخه ونوعها, وعلى هذا الأساس يكـون أقل ضغط فى دائرة المضخه يساوى:

$$h_{min} = H_{ms} - X = H_{ms} - \sigma H_m = H_{ms} - NPSHR$$

∴لتجنب حدوث التكهف:

$$P_{min} > P_v - P_{atm}$$

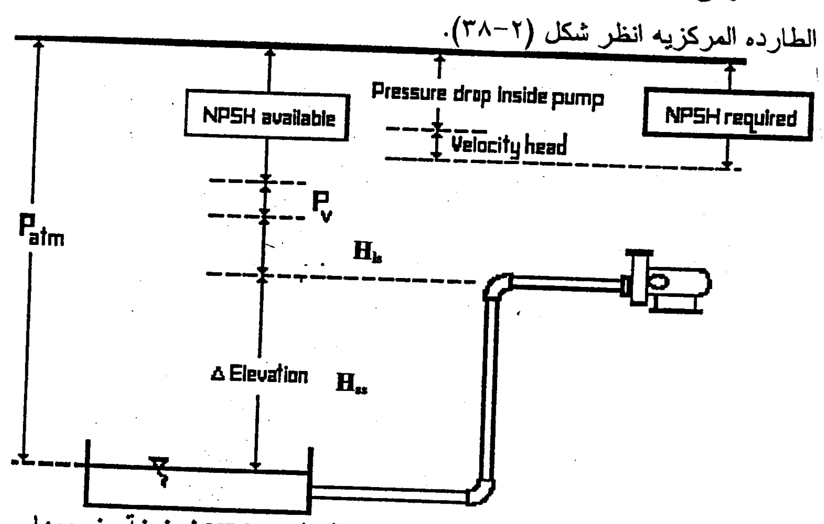
$$H_{ms} - \sigma H_m > h_v - h_{atm}$$

وحيث أن:

$$H_{ms} = H_{ss} - H_{ls} - \frac{v_s^2}{2g}$$

$$\therefore H_{ss} - H_{ls} - \frac{v_s^2}{2g} - \sigma H_m > h_v - h_{atm}$$

وهى المعادله الواجب تحقيقها لضمان عدم حدوث التكهف فى المضخـات الطارده المركزيه انظر شكل (٢-٣٨).



شكل (٢-٣٨): إيجاد ضاغط السحب الموجب المتاح NPSH لمضخة منسوبها أعلى من سطح المياه فى خزان السحب

من هذه المعادله وحيث أن الطرف الأيمن يعتبر ثابتا ويعتمد على نوع السائل ودرجة حرارته والضغط الجوى فى مكان التشغيل جدول رقم (٢-٤)، فإنه لتجنب التكهف يجب الإحتفاظ بالطرف الأيسر أكبر ما يمكن وذلك بزيادة قيم الحدود الموجبه وتقليل قيم الحدود السالبه كما يلى:

١- وضع المضخه فى أوطى منسوب ممكن بالنسبه للمضخه لزيادة قيمة H_{ss}.

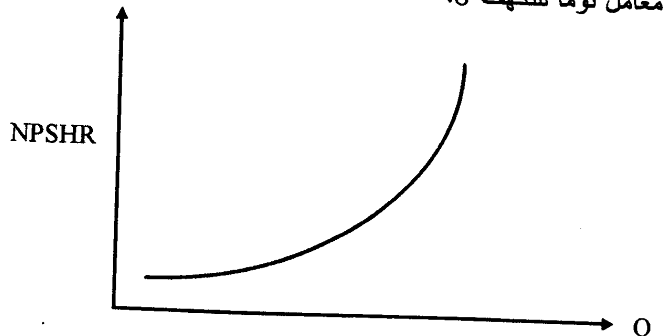
٢- تقليل الفواقد في ماسورة السحب بوضعها أقرب ما يمكن لخزان السحب وتجنب وجود أي انحناءات أو تغييرات في المساحه فيها أو زيادة قطرها إذا أمكن ولذلك يكون قطر ماسورة السحب أكبر من ماسورة الطرد.

٣- إختيار المضخات ذات معامل التكهف (σ) أقل ما يمكن وذلك في الحالات الحرجه التي يكون إحتمال حدوث التكهف فيها قائم , لأن المضخات ذات معامل التكهف الصغير تكون عادة أعلى سعرا من المضخات المناظره ذات معامل تكهف أكبر.

تعطى X فى الكتالوجات المضخات بإحدى الطريقتين:

١- تسمى X بالـ NPSHR وتعطى على شكل منحنى مع التصرف كما فى الشكل (٢-٣٩).

٢- يعطى معامل توما للتكهف σ.



شكل (٢-٣٩): منحنى صافى ضاغط السحب الموجب على التصرف

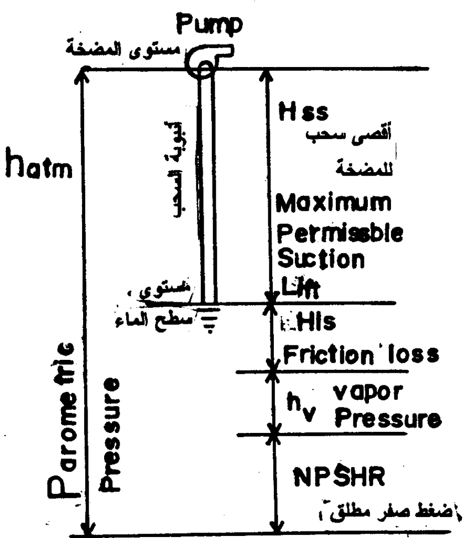
جدول (٢-٤): ضاغط البخار عند درجات حرارة مختلفة والضاغط الجوى عند إرتفاعات مختلفة من سطح البحر.

درجة الحرارة		الضاغط البخارى		الإرتفاع عن سطح البحر		الضاغط الجوى	
(°F)	(°C)	(ft)	(m)	(ft)	(m)	(ft)	(m)
٣٢	٠,٠	٠,٢	٠,٠٦	٠	٠	٣٤,٠	١٠,٤
٤٠	٤,٤	٠,٣	٠,٠٩	٥٠٠	١٥٠	٣٣,٠	١٠,٢
٥٠	١٠,٠	٠,٤	٠,١٣	١٠٠٠	٣٠٠	٣٢,٨	١٠,٠
٦٠	١٥,٦	٠,٦	٠,١٨	١٥٠٠	٤٦٠	٣٢,٢	٩,٨
٧٠	٢١,١	٠,٨	٠,٢٦	٢٠٠٠	٦١٠	٣١,٦	٩,٦
٨٠	٢٦,٧	١,٢	٠,٣٦	٢٥٠٠	٧٦٠	٣١,٠	٩,٥
٩٠	٣٢,٢	١,٦	٠,٤٩	٣٠٠٠	٩١٠	٣٠,٥	٩,٣
١٠٠	٣٧,٨	٢,٢	٠,٦٧	٤٠٠٠	١٢٢٠	٢٩,٤	٩,٠
١١٠	٤٣,٣	٢,٩	٠,٩٠	٥٠٠٠	١٥٢٠	٢٨,٣	٨,٦
١٢٠	٤٨,٩	٣,٩	١,١٩	٦٠٠٠	١٨٣٠	٢٧,٣	٨,٣
١٣٠	٥٤,٤	٥,١	١,٥٦	٧٠٠٠	٢١٣٠	٢٦,٢	٨,٠
١٤٠	٦٠,٠	٦,٧	٢,٠٣	٨٠٠٠	٢٤٤٠	٢٥,٢	٧,٧
١٥٠	٦٥,٦	٨,٦	٢,٦٢	٩٠٠٠	٢٧٤٠	٢٤,٣	٧,٤
١٦٠	٧١,١	١١,٠	٣,٣٤	١٠٠٠٠	٣٠٥٠	٢٣,٤	٧,١

تحديد أقصى سحب للمضخة: Allowable Suction Head

تكمن أهمية تحديد أقصى سحب للمضخة فى أنها تعتمد على مكان التركيب من حيث قيمة الضغط الجوى الذى يعتمد على المنسوب فوق سطح الأرض وأيضاً يعتمد على درجة حرارة التشغيل التى تحدد ضغط بخار الماء أما فيما يخص حرارة المضخة فإنها تعتمد على قيمة الفاقد فى الضغط داخل المضخة متمثلة فى صافى ضاغط السحب الموجب NPSHR هذا بالإضافة إلى قيمة الفواقد فى خط السحب فهى تختلف من تصميم لآخر. يوضح شكل (٢-٤٠) كيفية تحديد أقصى سحب للمضخة.

$$(H_{ss})_{max} = h_{atm} - h_v - H_{ls} - \sigma . H_m$$
$$= h_{atm} - h_v - \Sigma H_{ls} - NPSHR$$



شكل رقم (٢-٤٠): تحديد أقصى سحب للمضخة

مثال:

مضخة ترفع المياه بضاغط كلى ٢٠ متر ومعامل توما للتكهف ٠,١٠ إذا علـى أن الضغـط البـارومترى $96.5 \; kN/m^2 \; abs$ وضغـط البخـار $4.95 \; kN/m^2 \; abs$ على فرض أن الفواقد فى الضاغط عند المدخل ماسورة السحب وفى خلالها ١,٥متر. احسب أقصى إرتفاع يمكن وضع المضخة عليه فوق سطح المياه فى خزان السحب.

$$(H_{ss})_{max} = \frac{P_{atm}}{\gamma} - \frac{P_v}{\gamma} - \Sigma H_{ls} - \sigma . H_m$$

$$= \frac{96.5}{9.81} - \frac{4.94}{9.81} - 1.5 - (0.1 \times 20)$$

$$= 5.83$$

٢-٨- تحضير المضخات: *Priming*

عادة يتم تحضير المضخات الطاردة المركزية فقط حيث أن الأنواع الأخرى من المضخات لاتحتاج تحضير. فإذا استخدمت مضخه طاردة مركزيه وكان مستواها أعلى من مستوى الماء فى خزان السحب فإنه يلزم تحضيرها قبل التشغيل وذلك بأن تملأ بالسائل قبل التشغيل لأن الضاغط الذى تعطيه المضخه يكون من نفس نوع المائع الموجود داخلها وعلى هذا إذا دارت المضخه وبداخلها هواء فإن الضاغط الناتج يكون من الهواء وبالتالى يكون الضاغط المانومترى الناتج $(P_m = \gamma_{ar} . H_m)$ صغير جدا لأن γ_{air} تساوى $\frac{1}{800}$ من γ_{water} أى $\left(\frac{\rho_{air}}{\rho_{water}} = \frac{1.25 kg/m^3}{1000 kg/m^3} = \frac{1}{800} \right)$. وبالتالى يكون هذا الضغط غير كافى لسحب السائل من خزان السحب ودفعه إلى خزان الطرد. أما بعد ملأها بالسائل فإن

الضغط المانومترى الناتج يكون $(P_m=\gamma_{liquid}.H_m)$ كبير بالدرجه التى تمكن المضخه من سحب السائل ودفعه فى أنبوبة الطرد، ومن الجدير بالذكر أن المضخات التى توضع تحت منسوب المياه فى خزان السحب لايلزم لها عملية تحضير.

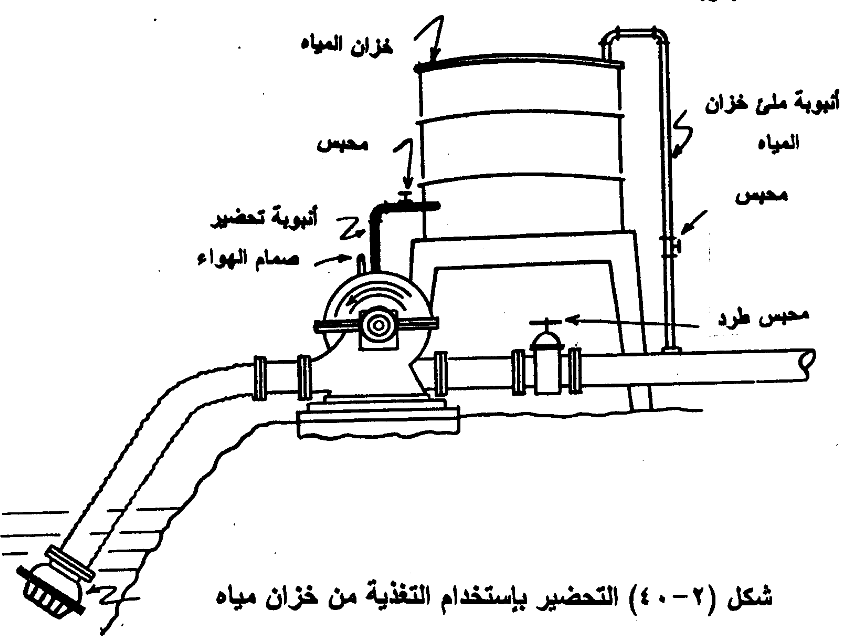
طرق تحضير المضخات:

١- التحضير باستخدام التغذية من مصدر خارجي:

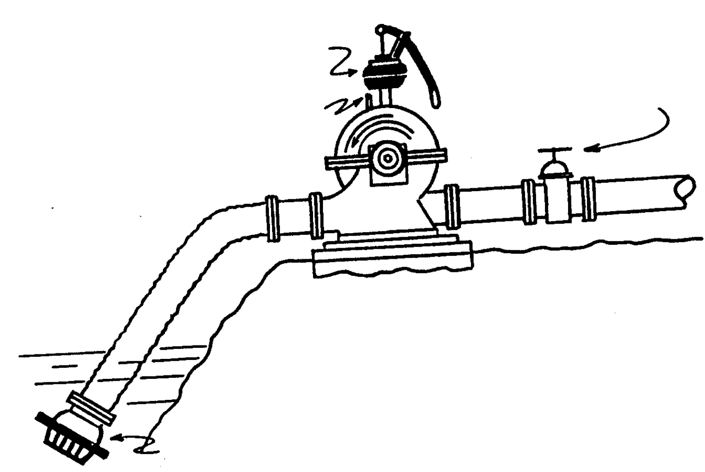
وقد يتم ذلك عن طريق ملئ المضخة وخط السحب بالماء بوضع قمع داخل طبة تحضير المضخة وتوجد هذه الطبة بغلاف المضخة وإما إستخدام خزان يحتفظ به مملوءاً كما بالشكل رقم (٢-٤١). وتتم هذه الطريقة بغلق صمام التصرف وفتح صمام الهواء ثم فتح صمام تغذية المياه من الخزان حتى يتم طرد الهواء من صمام الهواء ثم يتم غلق صمام التغذية وصمام طرد الهواء وفتح صمام التصرف وبدء تشغيل المضخة. ويلاحظ هنا أهمية وجود محبس القدم (محبس عدم رجوع) وذلك لكى لاتتسرب المياه من خط السحب إلى بيارة السحب وباستخدام محبس القدم يتم التحضير فقط عند أول تشغيل أو عند ترك المضخة مدة طويلة بدون تشغيل وكذلك بعد الصيانات حيث يحتفظ محبس عدم الرجوع بالمياه داخل خط السحب وغلاف المضخة ويوضح شكل رقم (٢-٤٣) نوعين من محابس القدم.

٢- التحضير باستخدام مضخة تحضير يدوية:

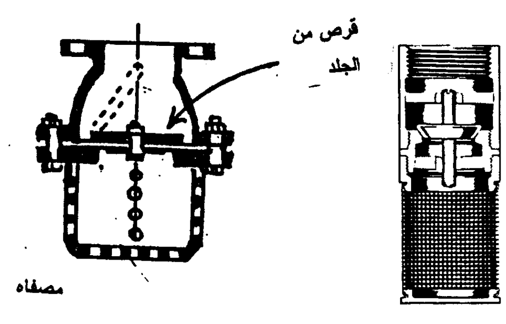
تستخدم مضخة التحضير اليدوية كما فى الشكل رقم (٢-٤٢) لتحضير المضخة لأول تشغيل ايضاً أو عند فقد المياه من خط السحب إذا حدث تسريب من محبس عدم الرجوع (محبس القدم) حيث أنه فى بعض الأحيان يدخل من صفاة الأعشاب بعض الشوائب التى تتسبب فى تعليق قرص الصمام وبالتالى تسريب المياه منه إلى بيارة السحب مما يفقد المضخة تحضيرها ولتحضير المضخة نعلق صمام الهواء وصمام التصرف ثم نبدأ بتشغيل المضخة اليدوية (الكاركة) لسحب الهواء من ماسورة السحب وذلك حتى يتم تفريغ الهواء تماماً من خط سحب المضخة ويتم تشغيل المضخة ويوضح شكل رقم (٢-٤٤) قطاع فى المضخة اليدوية.



شكل (٢-٤٠) التحضير بإستخدام التغذية من خزان مياه



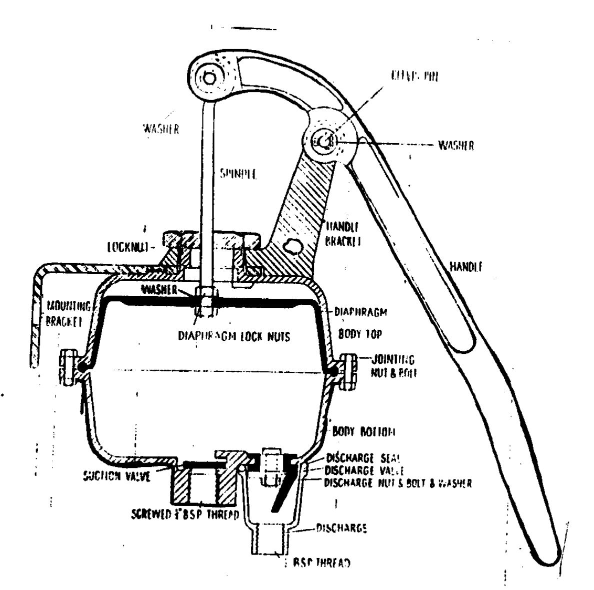
شكل (٢-٤٢): التحضير باستخدام مضخة تحضير يدوية



Foot Valve
With Strainer;
Hinged Type

Foot Valve
With Strainer;
Poppet Type

شكل (٢-٤٣): النوعين الشائع إستخدامهم من محابس القدم

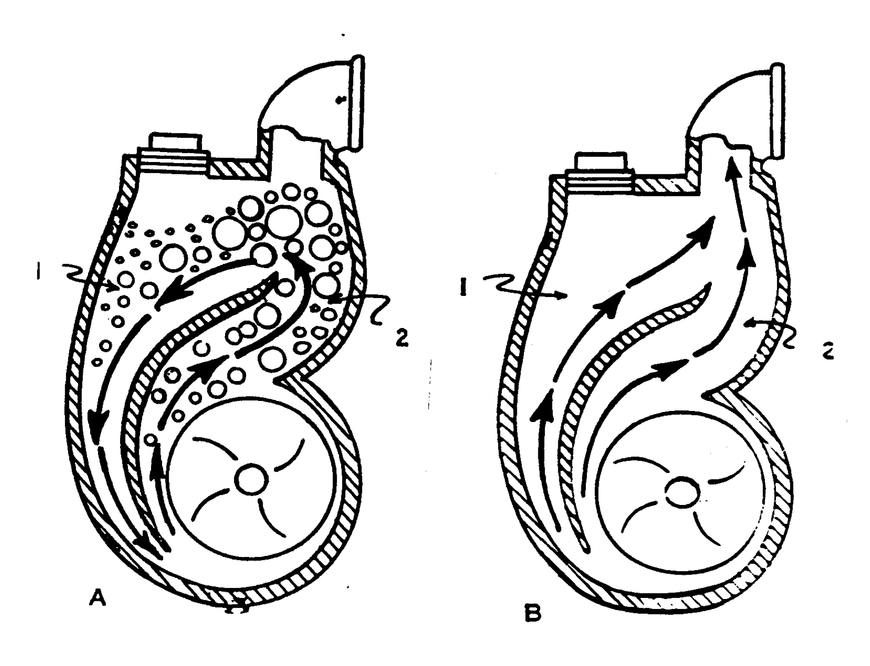


شكل (٢-٤٤): مضخة التحضير اليدوية

المضخات الطاردة المركزية ذات التحضير الذاتى
Self - Priming Centrifugal Pump

تحتوى المضخات الطاردة المركزية ذات التحضير الذاتى على تجويف أو غرفة داخل جسم المضخة بحيث تكون مملوءة بالماء عند بداية التشغيل. فعند تشغيل المضخة فإن الماء يندفع إلى أعلى إلى غرفة التحضير كما هو مبين بالشكل(٢-٤٥أ). يتولد عن اندفاع الماء خلخلة عند فتحة سحب المضخة مما يتسبب فى سحب الهواء من خط السحب وإختلاطه بالماء داخل المضخة وإندفاعه

لأعلى وهروبه من المضخة منفصلاً عن الماء الذى يتجه لأسفل تحت تأثير وزنه. وبتكرار هذه العملية يتم تفريغ خط السحب من الهواء وإحلال الماء محله وبذلك يتم تحضير المضخة وتصبح الغرفة ٢،١ فى الشكل (٢-٤٥ب) كغرفة واحدة ولايحدث دوامات للمياه أثناء تشغيل المضخة كما كان يحدث عند وجود الهواء عند بداية التحضير. وتزود المضخة بمحبس عدم رجوع عند مدخل خط السحب بحيث تظل المياه داخل خط السحب ولايتم تحضير المضخة إلا عند تركيبها لأول مرة أو إصلاحها وذلك بملئ المضخة بالمياه يدوياً وذلك من طبة التحضير الموجودة بجسم المضخة.



شكل (٢-٤٥): المضخات الطاردة المركزية ذات التحضير الذاتى.

٢-٩- أعطال المضخات Troubleshooting

لقد وصلت صناعة المضخات إلى مستوى عالى الدقة بحيث انه يمكن تشغيل المضخات لفترة زمنية طويلة بدون ظهور أية أعطال بها. ولكن قد تحد الأعطال من التصميم أو التركيب غير السليم أو من عدم الصيانة. وهذه هى بعض الأعطال والأسباب المحتملة لحدوثها.

١- المضخة لاتعطى تصرف أو تصرفها غير كافى.

- لم يتم تحضير المضخة.
- سرعة الدوران منخفضة جداً.
- ضاغط الطرد مرتفع جداً
- ضاغط السحب أكبر من المسموح به.
- إنسداد المروحة (الدفاعة)
- دوران المروحة فى الإتجاه العكسى.
- إنسداد فانوس السحب.
- تسرب الهواء إلى داخل ماسورة السحب.
- عيوب ميكانيكية بالمروحة أو مانع التسرب.
- محبس القدم Foot Valve فى فانوس السحب قطره صغير.
- نهاية ماسورة السحب غير مغمورة بدرجة كافية فى المياه داخل حوض المص.

٢- لضغط الذى تعطيه المضخة غير كافى

- تسرب الهواء إلى داخل ماسورة السحب.
- قطر المروحة صغير جداً.

- سرعة الدوران منخفضة جداً.
- تلف المروحة.
- تلف الحشو.

٣- إستهلاك القدرة المرتفع للمضخة:

- السرعة العالية جداً للمضخة.
- الإختيار الخاطئ للمضخة.
- المياه باردة جداً.
- عيوب ميكانيكية.

٤- إهتزاز وضوضاء بالمضخة

- حدوث تكهف.
- المحرك غير متزن.
- تآكل فى كراسى التحميل Bearings.
- عدم إتزان المروحة (الدفاعة) نتيجة لحدوث تلف بها.
- دخول الهواء ماسورة السحب من خلال تأثير الدوامات المائية فى حوض لمص.
- حدوث طرق المياه Water Hammer فى خط المواسير.

٢-١٠- منحنى خط الأنابيب (منحنى الأنبوبه)

Piping Curve (System Curve)

توصلنا فيما سبق إلى أن الضاغط المانومترى المطلوب من المضخه H_m يمكن حسابه من:

$$H_m = H_{st} + h_l + \frac{v_s^2}{2g}$$

حيث h_l مجموع الفواقد فى خط الأنابيب.

وبالتعويض عن مجموع الفواقد h_l فى المعادله السابقه يمكن حساب الضاغط المطلوب ليمر تصرف معين في خط الأنابيب كالآتي:

$$H_m = H_{st} + f\frac{l}{d}\frac{v^2}{2g} + \frac{v^2}{2g}(K_1 + K_2 + K_3 + ...) + \frac{v^2}{2g}$$

$$H_m = H_{st} + \frac{v^2}{2g}\left[f\frac{l}{d} + \Sigma K + 1\right]$$

وذلك إذا كان قطر خط السحب يساوى قطر خط الطرد

$$v = v_s = v_d$$

$$\because v = Q / \left(\frac{\pi}{4}d^2\right)$$

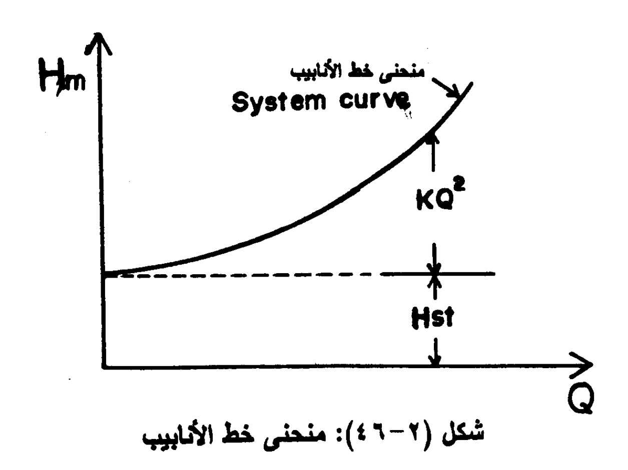
$$H_m = H_{st} + \frac{f\frac{l}{d} + \Sigma K + + 1}{\left(\frac{\pi}{4}d^2\right)^2 \times 2g}Q^2$$

$$\therefore H_m = H_{st} + KQ^2$$

حيث K ثابت خط الأنابيب وليس له علاقه بالمضخه على الإطلاق.

بتكرار التعويض في المعادله السابقه للحصول على عدة قيم للتصــرف Q نحصل على القيم المقابله H_m وهي تمثل قيم الضــاغط الـلازم لمـرور التصرفـات المقابلـه. ويســمى المنحنــى النـــاتج بمنحنــى خــط الأنـــابيب أو منحــى الأنبوبــه (شكل ٢-٤٦). ونلاحظ أن السريان فى الجزء الأول من المنحنــى يكـون رقـائقي ثم يصبح إضطرابي ويزيد حتى يصل إلى الإضطراب الكامل وفيـه تظـل قيمـة f ثابته لباقي قيم المنحنى فإذا كان الجزء المهم بالنسبة لنـا هـو الجـزء الأخـير مـن المنحنى يمكن التعويض من البدايه بقيمة f عند الإضطراب الكامل لتبسيط معادلـة المنحنى.

Q	✓	✓	✓	✓	✓	✓
H_m	✓	✓	✓	✓	✓	✓



شكل (٢-٤٦): منحنى خط الأنابيب

٢-١١- تشغيل المضخات Pump Operation

٢-١١-١- نقطة التشغيل Operation Point

من منحنى آداء المضخه الطارده المركزيه (H_m , Q) نجد أن المضخه الطارده المركزيه يمكن أن تعمل عند أي نقطه من نقاط المنحنى ولكن عند وضع هذه المضخه في خط أنابيب معين فإن نقطة التشغيل لهذه المضخه يمكن تحديدها برسم منحنى خط الأنابيب مع منحنى آداء المضخه على رسم واحد بنفس مقياس الرسم (شكل ٢-٤٧) فتكون نقطة التشغيل هى نقطة تقاطع المنحنيين حيث أنها النقطه الوحيده التى يتساوى عندها التصرف المار فى الخط مع التصرف المار فى المضخه، وكذلك يكون الضاغط الذى تعطيه المضخه مساوى للضاغط المطلوب للتغلب على فرق المنسوب والفواقد المختلفه فى خط الأنابيب. على يمين نقطة التقاطع نجد أن الضاغط المطلوب لخط الأنابيب أكبر من الضاغط الذي تعطيه المضخه لذلك يستحيل أن تعمل المضخه في هذا الخط عند تصرف أكبر من تصرف نقطة التشغيل؛ لذلك يسمى تصرف نقطة التشغيل بأقصى تصرف للمضخه في هذا الخط Q_{max}.

على يسار نقطة التشغيل نجد أن الضاغط الذي تعطيه المضخه أكبر من الضاغط المطلوب عند خط الأنابيب لذى يمكن أن تعمل المضخه على تصرف أقل من تصرف نقطة التشغيل بشرط أن تنتقل نقطة التقاطع بين منحنى آداء المضخه ومنحنى خط الأنابيب إلى اليسار من نقطة التقاطع الأولى وحيث أن آداء المضخه عند سرعه ثابته لا يمكن تغييره فإن الحل الأخير هو رفع منحنى خط الأنابيب إلى أعلى وذلك بزيادة الفاقد في الطاقه بطريقه يمكن التحكم فيها

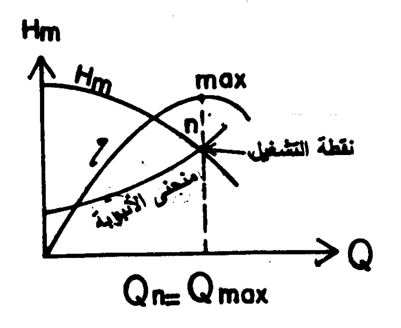
وذلك عن طريق إستخدام محبس فكلما زاد إغلاق المحبس زادت الفواقد في خط الأنابيب وارتفع منحنى خط الأنابيب إلى أعلى .

إذا كانت نقطة التشغيل تقابل نقطة التشغيل العاديه للمضخه Normal Point فإنها تكون النقطه المثلى للتشغيل.

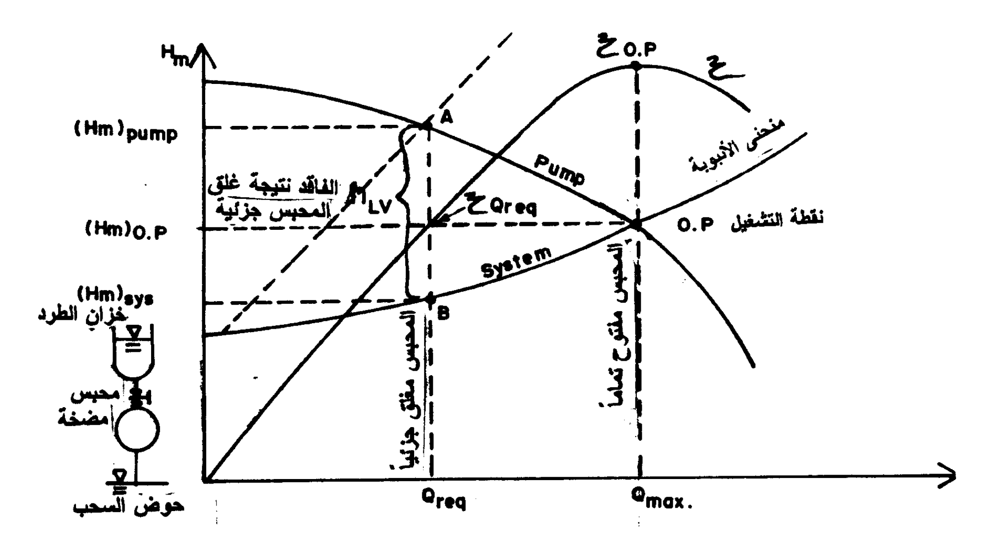
$very\,best @ Q_{max} = Q_n$

أى أن تشغيل المضخه يكون عند أقصى كفاءه كما فى شكل (٢-٤٧).

وكما هو موضح بشكل (٢-٤٨) إذا أردنا تقليل التصرف من Q_{max} إلى Q_{req} نغلق المحبس قليلا مما يسبب إرتفاع منحنى خط الأنابيب إلى الوضع المبين، وبالتالي تنتقل نقطة التقاطع من Q_{max} إلى Q_{req} مع ملاحظة أن المسافه من A إلى B تمثل الفاقد فى المحبس نتيجة إغلاقه h_{lv}.



شكل (٢-٤٧): نقطة تشغيل المضخة



شكل (٢-٤٨): نقطة التشغيل عند إغلاق المحبس جزئياً

ولذا لا ينصح باستخدام طريقة غلق المحبس جزئيا في المضخات التي تعمل بصفه مستمره حيث أن الفاقد في الطاقه نتيجة غلق المحبس جزئيا معناه استهلاك زائد في الطاقه .

عند نقطة التشغيل يمكن حساب القدره على عمود المضخه كالآتى:

$$@Q_{max}$$

$$shp = \frac{\gamma Q_{max} (H_m)_{o.p}}{\eta_{o.p}}$$

عند غلق المحبس جزئيا:

$@Q_{req}$

$$h_{lv} = (H_m)_{pump} - (H_m)_{system}$$

$$(shp)_{Q_{req}} = \frac{\gamma Q_{req} \times (H_m)_{pump}}{\eta_{Q_{req}}}$$

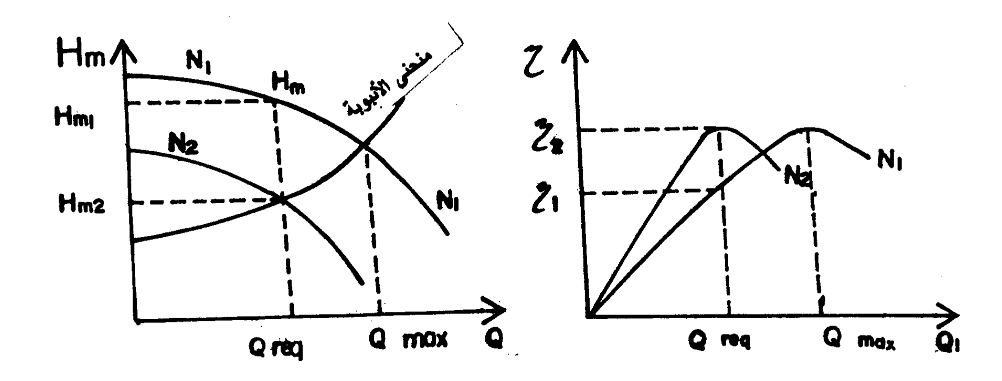
وتكون القدره المفقوده فى المحبس:

$$shp_{loss} = \frac{\gamma Q_{req} \times h_{lv}}{\eta_{Q_{req}}}$$

ويكون ثمن الطاقه المفقوده فى المحبس سنويا:

$$Energy\ loss\ cost = shp_{loss} \times Time(hrs/year) \times (cost/kw.hr)$$

والطريقـه الثانيـه وهـى الأفضـل للحصـول علـى تصـرف أقـل Q_{req} هـي تخفيض سرعة دوران المضخه كما فى الشـكل (٢-٤٩) وذلـك إذا كـان المحـرك المستعمل ذو سرعه متغيره.



شكل (٢-٤٩): طريقة تخفيض التصرف عن طريق تخفيض سرعة دوران المضخة

فى حالة الطريقه الأولى (المحركات ذات سرعة دوران ثابتـه N_1) فـإن القـدره تكون:

$$shp_1 = \frac{\gamma Q_{req} . H_{m1}}{\eta_1}$$

في حالة الطريقـه الثانيـه (محركـات ذات سرعات دوران متغيره N_2) فإن القدره تكون:

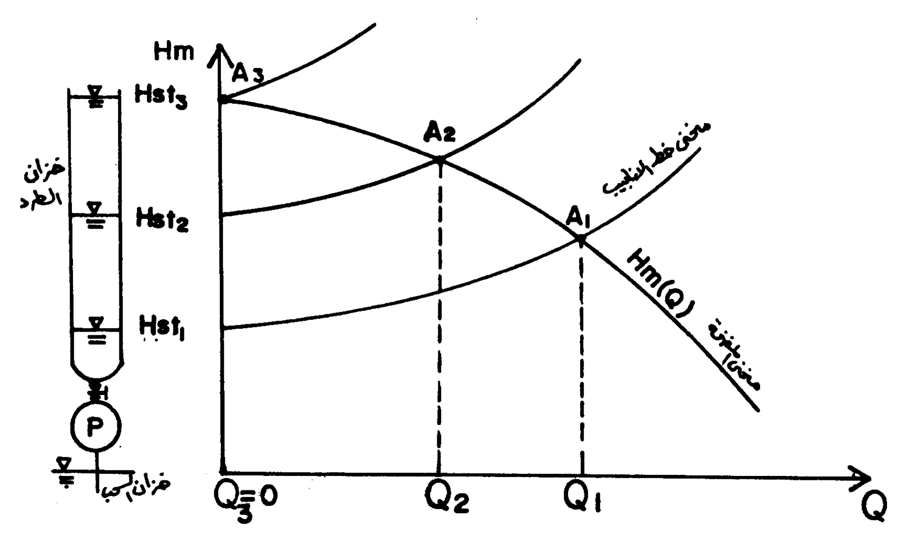
$$shp_2 = \frac{\gamma Q_{req} . H_{m2}}{\eta_2}$$

ويكون الوفر فى الطاقه المستهلكه في خلال العام :

$$Energy\ Saving = (shp1 - shp2) \times Time(hrs / year) \times cost / kw.hr$$

سعر الكيلووات. ساعة × ساعات التشغيل السنوية × فرق القدرة بالكيلووات = الوفر فى الطاقة المستهلكة

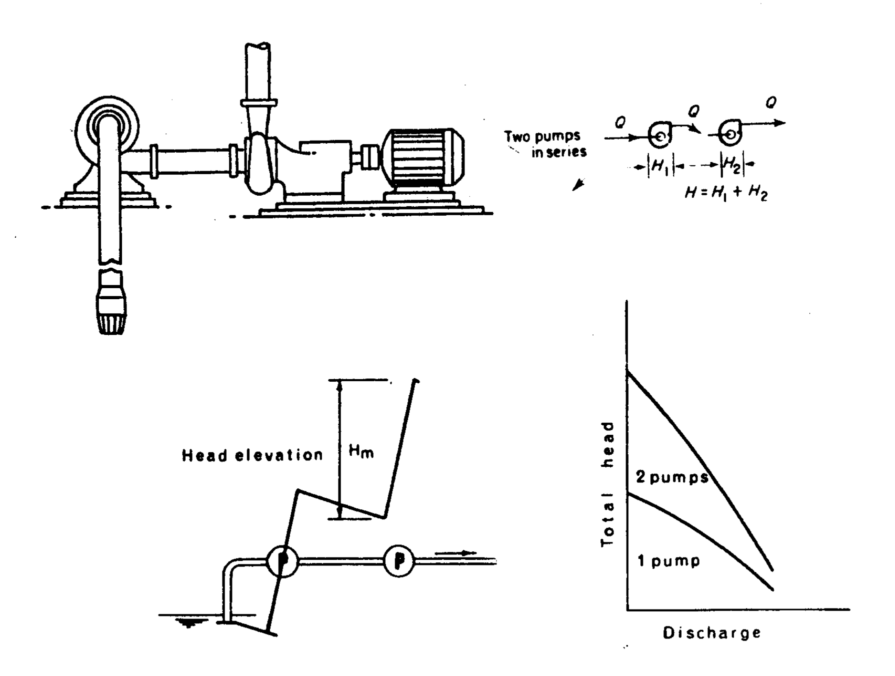
وأخيراً لنعتبر الحالة التى عندها يثبت كلاً من المحبس مفتوحاً وخواص خط الأنابيب تظل كما هى ولكن المتغير الوحيد هو الرفع الإستاتيكى من إلى H_{st2} إلى H_{st3} فيقل التصرف إلى النقطه التي يتساوى فيها $H_{st1} = H_{shut-off}$ مع ضاغط الإيقاف عند $Q = 0$ أى أن المضخه تدور ولا تعطى تصرف أى ترفع الميـاه إلى مستوى H_{st3} فقط كما هو واضح فى شكل (٢-٥٠):



شكل (٢-٥٠): تأثير تغيير الرفع الإستاتيكى على نقطة التشغيل

٢-١١-٢- تشغيل المضخات على التوالى Pumps Operating in Series

فى كثير من التطبيقات العملية يتطلب الحصول على ضاغط مرتفع أو قد يوجد خط أنابيب طويل يتطلب لتوصيل المياه فيه رفع الضغط عند عدة نقاط على طول مسار الخط لذلك نستعمل توصيل المضخات على التوالى لرفع الضغط وكما هو واضح من الشكل (٢-٥١) فإن توصيل المضخات على التوالى يتطلب مرور نفس التصرف فيها أما الضغط الكلى فهو عبارة عن مجموع الضغط الذى تعطيه كل مضخة.



شكل (٢-٥١): توصيل مضختين على التوالى

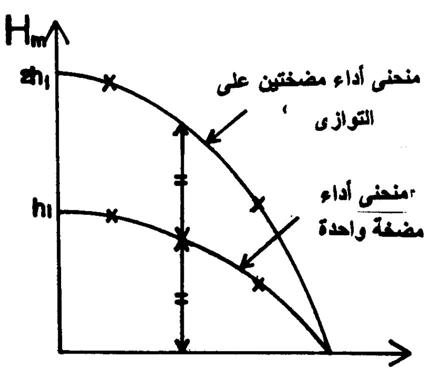
يتم إستنتاج منحنى آداء مضختين من نفس النوع من جدول الآداء لمضخه واحده وذلك بتثبيت التصرف Q ومضاعفه H_m وبذلك نرسم منحنى آداء مضختين متصلتين على التوالي كما هو موضح فى الشكل (٢-٥٢).

منحنى آداء مضختين على التوالى

Q(l/s)	0	10	20	30
H_m (m)	50	54	46	30

منحنى آداء مضخة واحد

Q(l/s)	0	10	20	30
H_m (m)	25	27	23	15



شكل (٢-٥٢): الحصول على منحنى آداء مضختين على التوالى بمضاعفة الضغط لمنحنى آداء مضخة واحدة

ومن الملاحظ من أول وهلـه أن توصيل مضختين على التوالي تعطي ضعف الضغط ولكن هذا ليس صحيحاً وأن فرضنا هذا فقط عند رسم منحنى آداء مضختين؛ أما في الواقع فإن هذا الضغط يعتمد على شكل منحنى خط الأنابيب وتقاطعه مع منحنى آداء المضختين لتحديد نقطة التشغيل كما يوضح شكل (٢-٥٣).

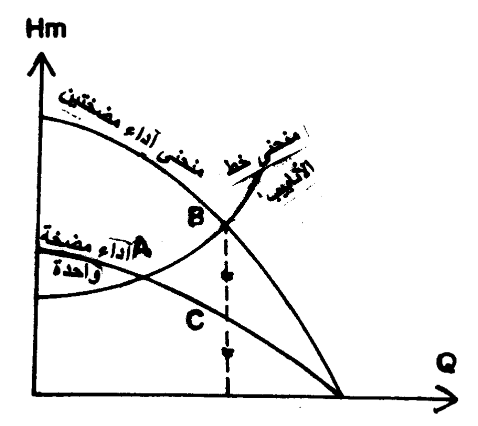
فى حالة توصيل المضخات على التوالى نجد أنه إذا كان التصرف فى أحد المضخات المتصله على التوالي يساوى Q فإن هذا التصرف هو نفسه التصرف المار في أي مضخه أخرى ويساوي تصرف المجموعه بينما إذا كان الضغط الذي تعطيه المضخه الواحده H فإن الضغط الناتج من المجموعه = $n \times H$ حيث n عدد الوحدات لذلك يمكن إستنتاج منحنى آداء

مجموعه من المضخات المتماثله المتصله على التوالى من منحنى آداء مضخه واحده منهم بتثبيت قيمة التصرف Q ومضاعفة قيمة الضغط بمقدار عدد الوحدات كما يتضح من الشكل (٢-٥٣).

A : نقطة تشغيل مضخه واحده في خط الأنابيب .

B : نقطة تشغيل مضختين على التوالي في نفس الخط .

C : نقطة تشغيل مضخه واحده تعمل ضمن مجموعه مكونه من مضختين على التوالى.



شكل (٢-٥٣): نقطة تشغيل مضختين على التوالى

وحيث أن نقطة تشغيل أى مضخه هـي نقطـة التقـاطع بيـن منحنـى الأداء ومنحنى خط الأنابيب لذلـك يجـب رسـم منحنـى آداء المجموعـه مـع منحنـى خـط الأنابيب وإيجاد نقطة التقـاطع لمعرفـة نقطـة تشـغيل المجموعـه كمـا هـو موضـح بالشكل (٢-٥٣)، ويتضح الآتى:

أن نقطة تشغيل مضختين على التوالي (B) يكون عندها التصرف والضغط أكبر من التصرف والضغط عند نقطة تشغيل مضخه واحده منفرده في الخط.

$$H_B > H_A \quad Q_B > Q_A$$

بينما النقطه التي تعمل عندها مضخه واحده ضمن المجموعه وهي النقطه (C) يكون عندها التصرف مساوي لتصرف المجموعه والضغط مساوي لنصـف ضغط المجموعه إذا كانت مكونه من مضختين أو يسـاوي $\frac{H_{total}}{n}$ حيـث n عـدد المضخات المتماثله:

$$Q_B = Q_C \qquad H_B = 2H_C \qquad \eta_C = \eta_B \;\; @Q = Constant$$

$$shp_{total} = n_p \frac{\gamma Q_p H_p}{\eta_p} \qquad shp_{total} = 2\frac{\gamma Q_C H_C}{\eta_C}$$

حيث:

n_p : عدد المضخات.

Q_p : تصرف المضخه الواحده عند نقطة تشغيل المجموعه وتساوى Q_C.

H_p : الضاغط الذى تعطيه المضخه الواحده عند تشغيل المجموعـه وتسـاوى H_C في المثال.

ونلاحظ:

$$Q_{max} = Q_B = Q_C = Q_p$$
$$Q_t = Q_p$$
$$H_t = n_p . H_p$$

المضخات متطابقه أو متماثله

٢-١١-٣- تشغيل المضخات على التوازى Pump Operating in Paralled

غالباً ما تحتوى محطات الضخ (الرفع) على عدة مضخات متصلة على التوازى كما هو مبين بالشكل (٢-٥٤) حيث يمكن الحصول على تصرفات مختلفة وذلك بتشغيل مضخة واحدة فى الخط أو تشغيل مضختين أو ثلاث مضخات وذلك حسب التصرف المطلوب من المحطة.

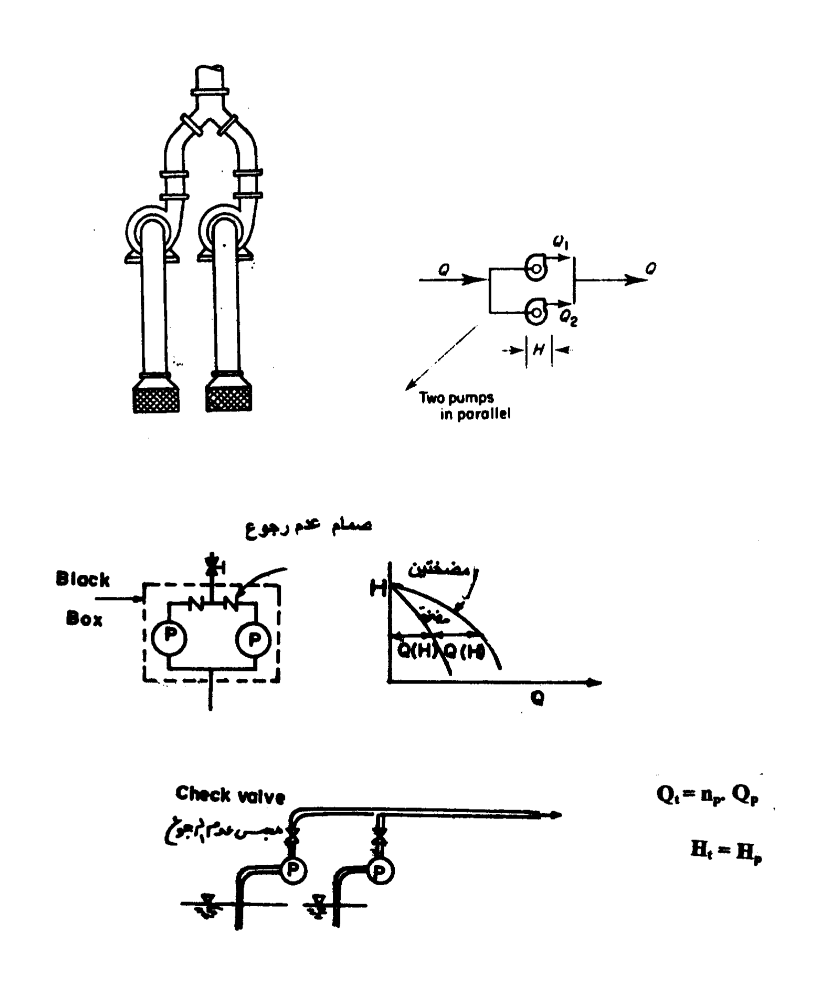
يمكن إستنتاج منحنى آداء مضختين متماثلتين متصلتين على التوازي من جدول آداء مضخه واحده وذلك بتثبيت الضغط (H_m) ومضاعفة التصرف أو ضرب تصرف الوحده فى عدد المضخات.

جدول آداء مضخة واحدة

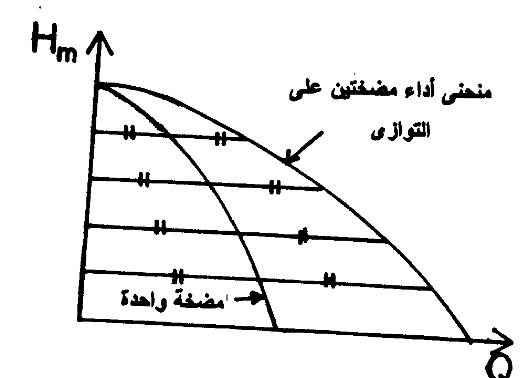
Q (l/s)	0	10	20	30	40
H_m (m)	25	27	23	15	14

جدول آداء مضختين على التوازى

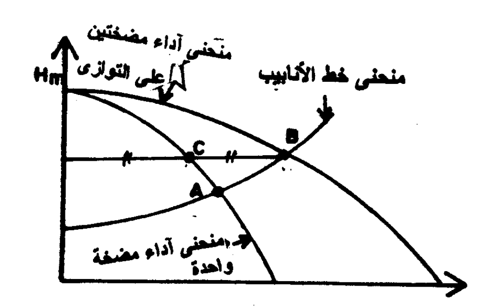
Q (l/s)	0	20	40	60	80
H_m (m)	25	27	23	15	14



شكل (٢-٥٤): توصيل مضختين على التوازى



شكل (٢-٥٥): الحصول على آداء مضختين على التوازى بمضاعفة التصرف لمنحنى آداء مضخة واحدة



شكل (٢-٥٦): طريقة الحصول على نقطة تشغيل مضختين على التوازى

A : نقطة تشغيل مضخه واحده منفرده فى الخط.

B : نقطة تشغيل مضختين على التوازى فى نفس الخط.

C : نقطة تشغيل مضخه واحده تعمل ضمن مجموعه مكونه من مضختسن متصلتين على التوازى.

فى حالة توصيل المضخات على التوازي يمكن إستنتاج منحنى آداء المجموعه من منحنى آداء الوحده وذلك بتثبيت الضغط عند أي نقطه من نقط منحنى آداء الوحده ومضاعفة التصرف بنسبة عدد الوحدات $Q_t=n_p.Q_p$ ولإيجاد نقطة تشغيل مجموعه متصله على التوازي في خط أنابيب، نرسم منحنى آداء المجموعه ومنحنى خط الأنابيب ونوجد نقطة التقاطع، فى الشكل (٢-٥٥) الموضح نجد أن نقطة التشغيل (B) للمجموعه يكون عندها التصرف والضغط أكبر من التصرف والضغط عند نقطة تشغيل مضخه واحده (A) فى الخط.

$Q_B > Q_A$ $\qquad\qquad H_B > H_A$

نقطه (C) تمثل نقطه تشغيل مضخه واحده تعمل ضمن مجموعه مكونه من مضختين متصلتين على التوازى.

$$Q_B = 2\,Q_C$$
$$H_B = H_C$$

ولحساب قدرة تشغيل مجموعه متصله على التوازى:

$$shp_{total} = n_p \frac{\gamma Q_p H_p}{\eta_p} \qquad\qquad shp_{total} = 2\frac{\gamma Q_C H_C}{\eta_C}$$

$$Q_p = \frac{Q_t}{n_p} \qquad\qquad Q_C = \frac{Q_B}{2}$$

نقطة التشغيل عندما تعمل مضخه واحده فقط فى الخط $Q_{max} = Q_A$

نقطة التشغيل عندما تعمل المضخات على التوازي في الخط $Q_{max} = Q_B$

مثال:

مضخه منحنى آدائها (فرضا لتبسيط الحل) $H_m = 20 - 2Q$ ، حيث $Q\ (m^3/hr)$ والفواقد في خط الأنابيب تتبع العلاقه الآتيه والرافع الإستاتيكى $0.5\ Q$. أوجد جبريا وتخطيطيا نقطة التشغيل فى الحالات الآتية:

١ - تشغيل مضخه واحده في الخط.

٢ - تشغيل مضختين على التوالي في الخط.

٣ - تشغيل مضختين على التوازي في الخط.

الحل:

معادلة آداء مضخه واحده $H_p = 20 - 2Q$

معادلة خط الأنابيب $H_m = 5 + 0.5Q$

١ - فى حالة تشغيل مضخه واحده فى الخط:

نحصل على نقطة التشغيل وهي نقطة التقاطع بين منحنى خط الأنابيب ومنحنى آداء المضخه أى نحل المعادلتين معا جبريا فنحصل على نقطة التشغيل وهى التى تعطى أقصى تصرف في الخط أيضا.

$$20 - 2Q = 5 + 0.5Q$$

$$\therefore Q = 6m^3/hr$$

بالتعويض في أي من المعادلتين ولتكن ممعادلة آداء المضخه عن $Q = 6$ نحصل على قيمة H_m

$$H_m = 20 - 2(6) = 8m$$

∴ نقطة التشغيل هى $Q = 6m^3/hr \quad \& \quad H_m = 8$

٢- فى حالة تشغيل مضختين على التوالى فى الخط:

معادلة آداء مضختين على التوالى

$$H_t = 2H_p$$
$$= 2(20 - 2Q)$$

وبحل معادلة خط الأنابيب مع معادلة آداء المضختين علـى التوالـى نحصـل علـى نقطة التشغيل

$$5 + 0.5Q = 2(20 - 2Q)$$
$$Q = 7.7\,m^3/hr$$

ثم بالتعويض في إحدى المعـادلتين عن قيمـة Q ولتكن معادلـة المضختيـن علـى التوالى

$$H_t = 2(20 - 2(7.7))$$
$$= 8.8m$$

∴ نقطة التشغيل في حالة إستخدام مضختين على التوالى هى:

$$Q = 7.7\,m^3/hr \quad \& \quad H_t = 8.8m$$

وفـي هذه الحالـة فـإن الضـاغط الـذي تعطيـه المضخـه الواحـده فــى الخـط هـو $\frac{٨,٨}{٢}$ = ٤,٤ عند تصرف ٧,٧متر مكعب/ساعة.

٣ - فى حالة تشغيل مضختين على التوازى:

$$Q_t = 2Q_p$$
$$H_p = 20 - 2Q_p$$

معادلة آداء مضخه واحده

$$\therefore Q_p = \frac{20 - H_p}{2}$$
$$Q_t = 2Q_p = 2\left(\frac{20 - H_p}{2}\right) = 20 - H_p$$

وبحل المعادلتين. معادلة خط الأنابيب والمضختين

$$\therefore H_p = 20 - Q_t$$

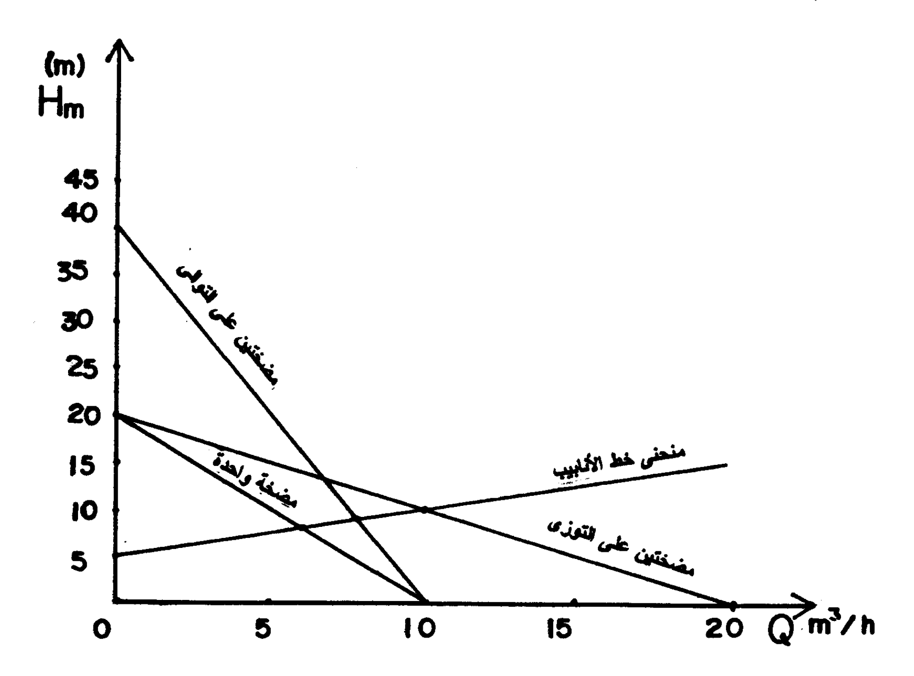
$$5 + 0.5Q = 20 - Q$$

$$\therefore Q_t = 10m^3 / hr$$

∴ نقطة التشغيل فى حالة استخدام مضختين على التوازى هى

$$Q_t = 10m^3 / hr \qquad \& \quad H = 20 - 10 = 10m$$

وفى هذه الحاله فإن التصرف الذي تعطيه المضخه الواحده فى الخط هو $\frac{١٠}{٢}$ = ٥م³/س عند ضاغط مقداره ١٠.



مثال: مضخه منحنيات آدائها كما يلى:

Q (l/s)	0	10	20	30
H_m (m)	30	26	20	10
η %	0	60	80	68

عندما استخدمت هذه المضخه في خط أنابيب كان أقصى تصرف ٢٠لتر/ث والرافع الإستاتيكى ١٥متر.احسب:

١- التصرف في الخط إذا استخدمنا مضختين على التوازي ثم قارن قدرة العمود في الحالتين.

٢- إذا استخدمنا ٣ مضخات على التوازي كم يصبح التصرف وقدرة العمود الكليه.

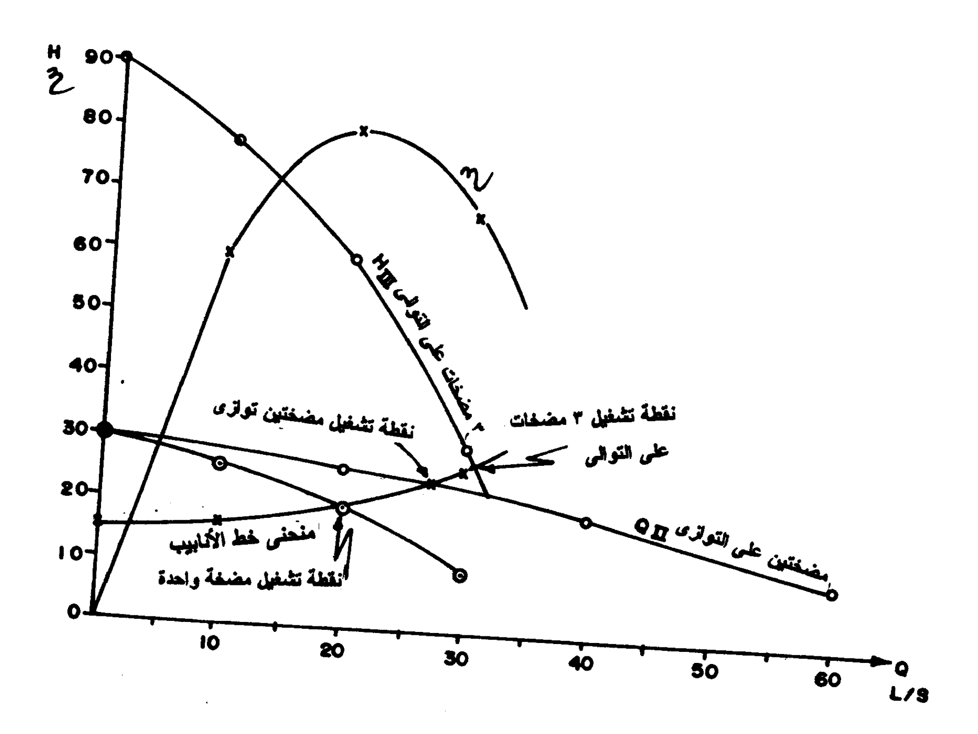
الحل:

Q	0	10	20	30
H	30	26	20	10
η	0	60	80	68
Q_n	0	20	40	60
Q_m	90	78	60	30

قدرة العمود المطلوبه في حالة استعمال المضخه الواحده في الخط

$$shp_1 = \frac{\gamma Q_p H_p}{\eta} = \frac{1000 \times \frac{20}{1000} \times 20}{0.80 \times 75}$$

$H_m = H_{st} + KQ^2$ منحنى الأنبوبة $20 = 15 + K(20)^2 \quad \therefore K = \frac{5}{(20)^2}$



معادلة منحنى خط الأنابيب $\therefore H_m = 15 + 5\left(\frac{Q}{20}\right)^2$

بالتعويض في منحنى خط الأنابيب

Q	0	10	20	30
H_m	15	16.25	20	26.25

من تقاطع منحنى خط الأنابيب مع منحنى مضختين على التوازى نحصل على تصرف الخط $Q_n = 27\ l/s$

∴ تصرف المضخه الواحده فى الخط = $\frac{\text{تصرف الخط}}{\text{عدد المضخات}}$ $Q_t = \frac{27}{2} = 13.5\ l/s$

ومن منحنى آداء المضخـه الواحده عند تصرف ١٣,٥ لتر/ث يكون الضاغط ٢٤متر والكفاءه ٧٢٪

∴ قدرة العمود المطلوبه للخط $shp_{II} = 2 \times \frac{13.5 \times 24}{0.72 \times 75} = 12hp$

نقطة تشغيل ٣ مضخات على التوالي هي ٣١ لتر/ث وضاغط ٢٨ متر

∴ ضاغط المضخه الواحده = $\frac{٢٨}{٣}$ متر وتصرف الخط هو التصرف الذى يمر بالمضخه الواحده ٣١ لتر/ث

قدرة العمود المطلوبه للخط.

$$shp_{III} = 3\frac{31 \times \frac{28}{3}}{0.66 \times 75} = 17.5hp$$

مثال على إيجاد نقطة التشغيل فى حالة توصيل المضخات على التوالى والتوازى:

تعمل مضختان متماثلتان فى تغذية خط أنابيب بالماء تحت ضاغط أستاتيكى ٤٤متر. والعلاقة بين تصرف المضخة والضاغط الذى تعطيه هى $H = 128 + 14Q - 108Q^2$ حيث Q التصرف م^3/ث، H الضاغط بالمتر ويبلغ طول خط الأنابيب ٨٦٥متر وقطره ٠,٦ متر ومعامل الاحتكاك ٠,٠١٨ احسب التصرف فى خط الأنابيب إذا وصلت المضختين على التوالى ثم احسب أيضاً إذا وصلت المضختين على التوازى.

الحل:

$$H_f=\frac{fL\,V_2}{d\;2g}=\frac{8\,fL\,Q^2}{\pi^2\,d^5\,g}$$

$$H_f=\frac{8\times 0.018\times 865\,Q^2}{\pi^2\,(0.6)^2\times 9.8}=16.56\,Q^2$$

وبذلك تصبح معادلة خط الأنابيب بعد إضافة الضاغط الأستاتيكى

$$H=44+16.6\,Q^2$$

فى حالة توصيل المضختان على التوالى

$$2(128+14Q-108\,Q^2)=44+16.6\,Q^2$$

$$232.6\,Q^2-28\,Q-212=0$$

$$Q=\frac{28\pm\sqrt{28^2-4(232.6)(-212)}}{2\times 232.6}$$

$$Q=\frac{28\pm 445}{465.2}=1.02\,m^3\quad s$$

فى حالة توصيل المضختان على التوازى

$$128+\frac{14Q}{2}-108\left(\frac{Q}{2}\right)^2=16.6\,Q^2+44$$

$$43\,Q^2-7\,Q-84=0$$

وبالمثل بحل المعادلة من الدرجة الثانية ورفض الجذر السالب فإن.

$$Q=1.49\,m^3/s$$

مثال على إيجاد نقطة تشغيل المضخة عند سرعات دوران مختلفة:

مضخة طاردة مركزية تدار على سرعة ١٠٠٠ لفة/ دقيقة بواسطة محرك ديزل وكانت العلاقة بين التصرف والضاغط كالآتى:

$Q(m^3/min)$	0	4.5	9.0	13.5	18.0	22.5
H(m)	22.5	22.2	21.6	19.5	14.1	0

وكان طول خط الأنابيب ٦٩ متر وقطر أنابيب السحب والطرد ٣٠سم وكان الضاغط الأستاتيكى ١٥ متر وتضخ المياه فى الجو عند نهاية خط الطرد وكان فاقد الدخول يقدر بطول مكافئ من خط الأنابيب مقداره ٦ متر وعلى فرض أن معامل الاحتكاك يساوى ٠,٠٢٤ احسب التصرف الذى يمر فى خط الأنابيب وكذلك الضاغط الذى تعطيه المضخة. ثم إذا خفضت سرعة الدوران إلى ٨٥٠ لفة/دقيقة فارسم منحنى أداء المضخة فى هذه الحالة وأوجد نقطة التشغيل فى هذه الحالة.

الحل:

عند تخفيض سرعة دوران المضخة فإنه يمكن ايجاد منحنى أداء المضخة من قانون تشابه المضخات كالآتى:

$$\frac{Q_2}{Q_1}=\frac{N_2}{N_1}=\frac{850}{1000} \qquad \therefore Q_2=Q_1\times 0.85$$

$$\frac{H_2}{H_1}=\left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2=\left(\frac{850}{1000}\right)^2 \qquad \therefore H_2=H_1\times 0.722$$

وبالتعويض عن قيم أداء المضخة من الجدول المعطى نحصل على أداء المضخة عند سرعة ٨٥٠ لفة/دقيقة N = 850 rpm

Q(m³/min)	0	3.8	7.65	11.47	15.3	19.1
H(m)	16.2	16	15.5	14	10	0.0

ولإيجاد منحنى الأنبوبة

$$H=H_{st}+H_l+\frac{V^2}{2g}$$

$$=15+\frac{V^2}{2g}\left[f\frac{L}{d}+1\right]$$

$$=15+\frac{Q^2}{2gA^2}\left[0.024\frac{(69+6)}{0.30}+1\right]$$

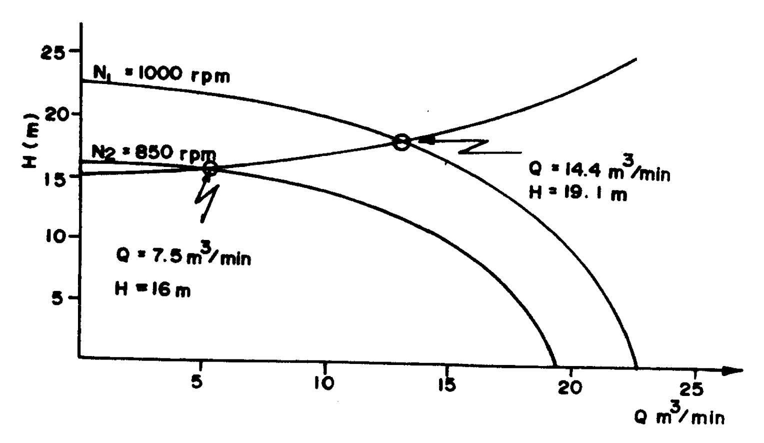
$$=15+\frac{Q^2}{2\times 9.81\times\left(\frac{\pi}{4}(0.30)^2\right)^2}\left[0.024\frac{75}{0.30}+1\right]$$

$$H=15+0.0198Q^2$$

وبالتعويض عن عدة قيم للتصرف تحصل على القيم المقابلة للضاغط لرسم منحنى الأنبوبة.

$Q(m^3/min)$	0	4.5	9	13.5	18	22.5
H(m)	15	15.4	16.6	18.6	21.4	25

ثم نوقع كل من منحنى الأنبوبة ومنحنى أداء المضخة عند سرعة الدوران ١٠٠٠ لفة /دقيقة وعند سرعة الدوران ٨٥٠ لفة/دقيقة.



منحنى أداء المضخة ومنحنى الأنبوبة

الباب الثالث

مضخات الإزاحة الإيجابية



الباب الثالث

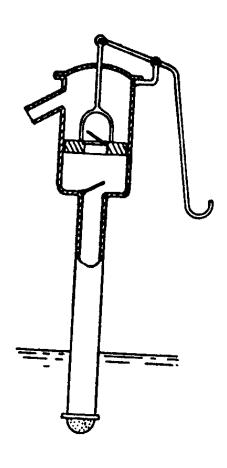
مضخات الإزاحة الإيجابية

٣-١- المضخات الترددية:

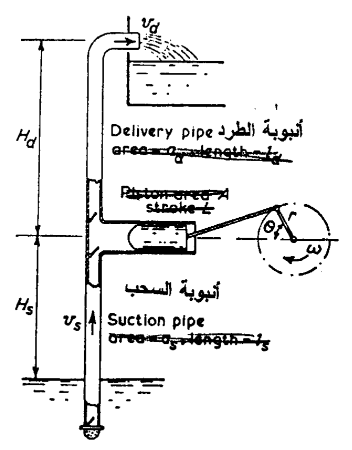
من المضخات الترددية المضخة الماصة الكابسة ومضخة الغشاء المرن.

٣-١-١- المضخة الماصة الكابسة اليدوية

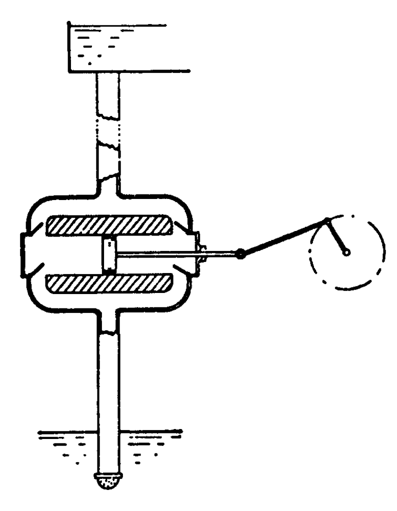
تتكون المضخة الماصة الكابسة (شكل ٣-١) من اسطوانة أو أكثر بكل منها مكبس يتحرك حركة ترددية داخل الإسطوانة عن طريق ذراع توصيل *Connecting rod* وذراع إدارة *Crank*، ومتصل برأس الأسطوانة أنابيب السحب والطرد عن طريق محابس عدم رجوع بحيث يفتح محبس السحب أثناء حركة المكبس إلى الخارج ويغلق أثناء حركة المكبس إلى الداخل وفى نفس الوقت يفتح محبس الطرد. والمضخة فردية أو أحادية الفعل *single acting pump* (شكل ٣-٢)هى التى يتصرف منها السائل خلال مشوار واحد من كل دوره. أما المضخة الثنائية أو المزدوجة الفعل *Double acting pump* (شكل ٣-٣) فهى التى يتصرف منها السائل خلال كل من مشوارى الحركة من كل دوره وبذلك يكون التصرف الخارج من المضخة أكثر إنتظاما.



شكل (٣-١): المضخة الماصة الكابسة اليدوية



شكل (٣-٢): مضخة ماصة كابسة ميكانيكية فردية الفعل



شكل (٣-٣): مضخة ترددية مزدوجة الفعل

حساب تصرف المضخة الماصة الكابسة:

حجم السائل الذى يدخل الأسطوانة أثناء مشوار السحب يطرد أثناء مشوار الطرد ويكون التصرف الذى تعطيه المضخة:

$$Discharge = Piston\,area \times stroke \times rev/sec. \times volumetric\,efficiency$$

$$Q = \frac{\pi}{4} D^2 \times S \times \frac{N}{60} \times \eta_{vol}$$

حيث:

D : قطر المكبس أو القطر الداخلى للأسطوانة.

$S = 2R$: طول مشوار المكبس.

N : سرعة الدوران لفة/دقيقة *(rpm)*.

الكفاءة الحجمية = ١ − التسرب $\eta_{vol} = 1 - leakage$

نتيجة للتسرب من بين المكبس والأسطوانة وكذلك نتيجة لرجوع جزء من السائل إلى أنبوبة السحب قبل إغلاق محبس السحب فى بداية مشوار الطرد فإن التصرف الفعلى من المضخة يكون أقل من التصرف النظرى وتسمى النسبة بينهما بالكفاءة الحجمية (η_{vol}) وتتراوح قيمتها بين ٠,٧ − ٠,٩٧

$$\eta_{vol} = \frac{Q_{actual}}{Q_{ideal}}$$

فى حالة المضخة مزدوجة الفعل شكل (٣-٤ب) فإن التصرف يحسب كما يلى:

$$Q = \left[2\left(\frac{\pi}{4} D^2 \right) - \frac{\pi}{4} d^2 \right] S \frac{N}{60} \eta_{vol}$$

$$Q = \frac{\pi}{4} (2D^2 - d^2) S \frac{N}{60} \eta_{vol}$$

حيث d : قطر ذراع التوصيل.

أما إذا كانت المضخة تتركب من عدة أسطوانات n وكانت المكابس تأخذ الحركة من عمود كرنك مشترك *Common Crank shaft* وتسمى المضخة *multiplex pump* فإن تصرف المضخة فى هذه الحالة يكون تصرف المكبس × فى عدد المكابس:

$$Q=\frac{\pi}{4}D^2 S\frac{N}{60}\eta_{vol}\times n$$

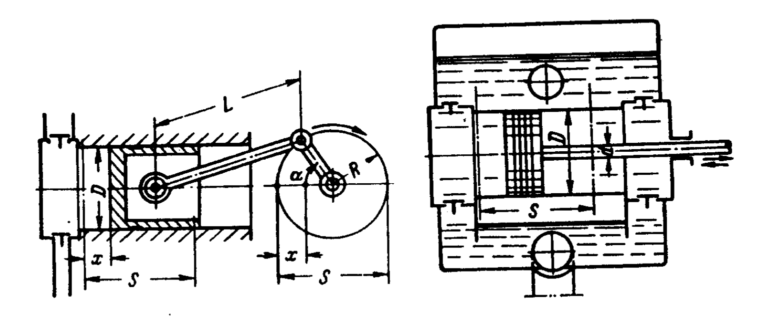
حيث: n عدد المكابس

وتعرف المضخة الترددية بنسبة طول المشوار إلى قطر الأسطوانة $\left(\frac{S}{D}\right)$ *Stroke-boreratio* وكذلك سرعة المكبس المتوسطة *average* $c_{p.av}$ *piston speed* فعادة، كلما إرتفعت سرعة المكبس المتوسطة قلت نسبة المشوار إلى قطر الأسطوانة وغالباً تكون $\frac{S}{D}=0.8to2, C_{p.av}=0.5to0.9m/s$

تذبذب التصرف فى المضخات الترددية:

لنعتبر مضخة فردية الفعل كما فى شكل (٣-٤أ) فعند تحرك المكبس إلى اليمين فإنه يقطع مسافة قدرها X حيث :

$$X=R-RCos\theta$$



شكل (٣-٤): طريقة عمل المضخات الترددية

حيث θ زاوية الكرنك *Crank angle* مقاسة من وضع المكبس أقصى اليسار

وتكون السرعة المتغيرة لحركة المكبس V_{pst} هى:

$$V_{pst}=\frac{dx}{dt}=\frac{d}{dt}(R-R\,Cos\theta)=R\,Sin\theta\frac{d\theta}{dt}$$

ولكن $\frac{d\theta}{dt}=\omega$ هى السرعه الزاوية لعمود الكرنك anglular velocity

$$\therefore V_{pst}=R\omega sin\theta \qquad (1)$$

وتكون العجلة لحركة المكبس a_{pst} *Piston acceleration*

$$a_{pst}=\frac{d\,v_{pst}}{dt}=R\omega\,Cos\theta\frac{d\theta}{dt}$$

$$a_{pst}=R\omega^2 Cos\theta \qquad (2)$$

ومن هذا يتضح أن العجلة للمكبس تتغير مع زاوية الكرنك تبعا لجيب تمام الزاوية ومن المعادلة (١) ، (٢) يمكن بيان أن:

$@\ \theta=0 \qquad v_{pst}=0 \qquad a_{pst}=R\omega^2$

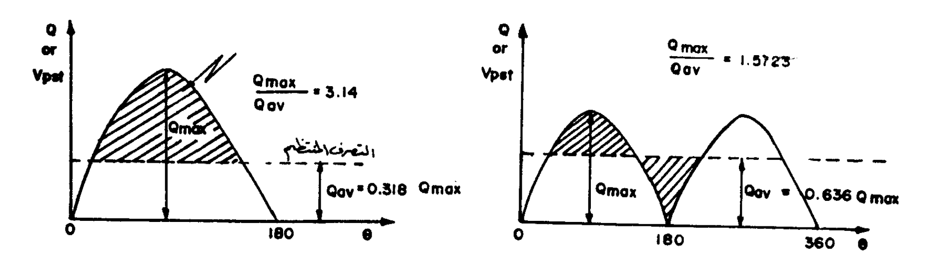
$@\ \theta=90° \qquad v_{pst}=R\omega \qquad a_{pst}=0$

$@\ \theta=180° \qquad v_{pst}=0 \qquad a_{pst}=-R\omega^2$

والعلاقة بين التصرف وسرعة المكبس هى:

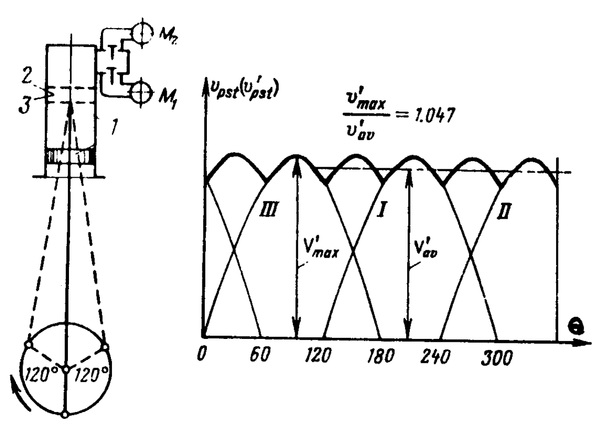
$$Q=piston\,speed\times piston\,area$$
$$=V_{pst}\times A_{pst}$$
$$=(R\omega\,Sin\theta)(\frac{\pi}{4}D^2)=\frac{\pi}{4}D^2R\omega\,Sin\theta$$

ومن ذلك يتضح أن سرعة المكبس والتصرف يتبع جيب زاوية الكرنك ويمكن تمثيل هذه المعادلة بيانيا كالآتى شكل (٣-٥):



شكل (٣-٥): العلاقة بين التصرف وزاوية الكرنك

ويتضح من المعادلة رقم ٢ أن قوى القصور الذاتى *Intertia force = ma* تصل إلى ذروتها عندما تصل عجلة المكبس إلى قيمتها العظمى عند كل من النقطة الميتة العليا والنقطة الميتة السفلى للمكبس والتى يغير فيها المكبس إتجاه حركته. فكما فى المعادلة رقم ٢ فإن قوى القصور الذاتى تتناسب مع عجلة المكبس والتى بدورها تتناسب مع مربع السرعة الزاوية (ω) لعمود المضخة. ولهذا فإن عند السرعات العالية لعمود المضخة فإن قوى القصور الذاتى قد تصل إلى قيمة كبيرة تسبب عدم إستمرارية التصرف وتمنع التشغيل العادى للمضخة. ومالم نستخدم وسيلة لمنع النبضات أو الدفعات فى السحب والطرد فإن التصرف فى المضخة سوف يتسم بعدم الإنتظام وإحدى الوسائل ذات الكفاءة العالية فى القضاء على تذبذب التصرف هى إستعمال أكثر من اسطوانة متصلة على التوازى بحيث تكون المكابس متصلة بعمود كرنك واحد وقد لوحظ أن الأعداد الفردية للإسطوانات تعطى تصرف أكثر إنتظاما من الأعداد الزوجية، فلنعتبر المثال الذى فيه ثلاثة اسطوانات متصلة بعمود كرنك واحد بحيث تكون مرتبة على عمود الكرنك بزاوية $\frac{٣٦٠}{٣}$ = ١٢٠° كما فى شكل (٣-٦):



شكل (٣-٦): مضخة فردية الفعل ذات ثلاثة أسطوانات

فإذا استخدمت أكثر من إسطوانة فإنها تعمل بالتبادل بمعنى أنه أثناء مشوار سحب الإسطوانة الأولى تكون الثانية فى مشوار طرد وهكذا. وإذا كانت المضخة ذات إسطوانة واحدة أو اسطوانتين يكون التصرف الخارج غير منتظم مع الزمن كما يتضح من الشكل، إذ أنه يتبع حركة المكبس التوافقية البسيطة حيث تبدأحركة المكبس فى بداية المشوار بسرعة صفر تتزايد مع الزمن لتصل إلى أقصى قيمة فى منتصف المشوار ثم تعود إلى التناقص حتى تصل إلى الصفر فى نهاية مشوار الطرد. ويكون التصرف صفرا أثناء مشوار السحب إذا كانت المضخة ذات إسطوانة واحدة، لذلك يستخدم فى هذه الحالة غرفة هواء *air chamber or vessel* (شكل ٣-٧) بها هواء مضغوط أو نيتروجين خامل بحيث يختزن جزء من السائل بها تحت ضغط مرتفع أثناء مشوار الطرد ثم يتم تصريفه أثناء مشوار السحب وهكذا مما يجعل التصرف أكثر إنتظاما. وبذلك تكون الطريقة الثانية للحصول على تصرف منتظم (منع التذبذب فى التصرف)

هى إستعمال غرفة الهواء حيث أن الطريقة الأولى هى استخدام أكثر من إسطوانة.

يوضح القانون العام للغازات نظرية عمل غرفة الهواء

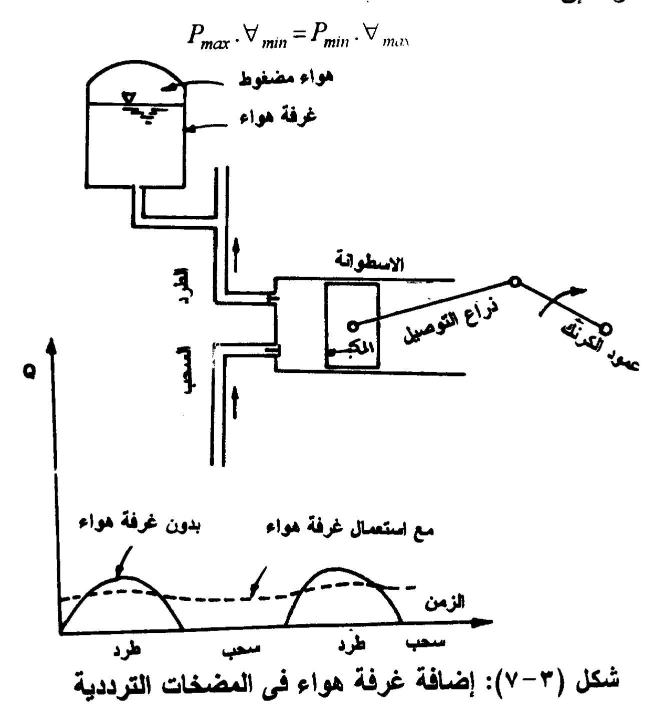
$$P\,\forall = constant$$

حيث $\forall$: حجم وزن معلوم من الهواء داخل غرفة الهواء .

P : ضغط الهواء داخل غرفة الهواء .

وعند إعتبار الحالتين لغرفة الهواء أى فى أثناء مشوار السحب وأثناء مشوار الطرد فإن:

$$P_{max} \cdot \forall_{min} = P_{min} \cdot \forall_{max}$$



شكل (٣-٧): إضافة غرفة هواء فى المضخات الترددية

التحكم فى تصرف المضخة الماصة الكابسة:

من معادلة التصرف فى المضخة الماصة الكابسة نجد أن التصرف يعتمد على D, S, N, η_{vol} وحيث أنه من غير العملى تغيير D وأيضا نادرا ما يمكن التحكم فى η_{vol} فإن التحكم فى التصرف يمكن أن يتم عن طريق تغيير S, N.

١ - تغيير S طول المشوار:

حيث أن $S = 2R$ ، بأنه يمكن التحكم فى R لإعطاء التصرف المطلوب.

٢ - التحكم فى سرعة الدوران N:

قد يمكن التحكم فى سرعة الدوران (شكل ٣-٨) للتحكم فى التصرف عن طريق إستخدام محرك ذو سرعات دوران متغيرة أو استعمال صندوق تروس لتغيير السرعات.

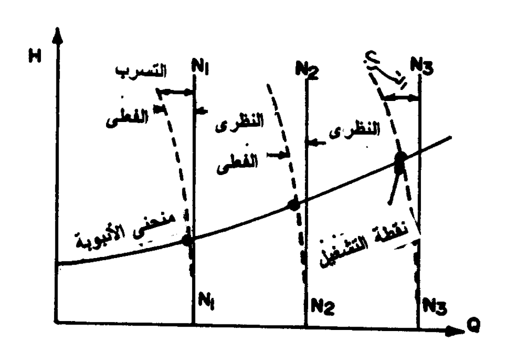
$N_3 > N_2 > N_1$

٣ - إستخدام أنبوبة رجوع من الطرد إلى السحب *by pass*:

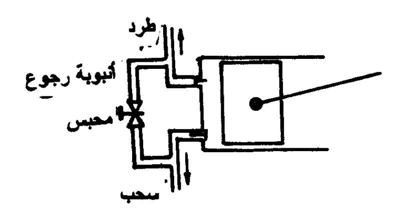
كما هو موضح بالشكل (٣-٩) وبها محبس عند إغلاقه تماما يمر تصرف المضخة بالكامل فى ماسورة الطرد وإذا فتح المحبس جزئيا يعود جزء من التصرف إلى جانب الطرد وبالطبع تستخدم هذه الطريقة لتقليل التصرف ولا تصلح لزيادة التصرف، وعيب هذه الطريقه فاقد الطاقة الذى لا نستفيد منه بالنسبة للجزء الراجع إلى أنبوبة السحب.

تعطى المضخة الماصة الكابسة أكبر تصرف بالنسبة لباقى أنواع المضخات الإيجابية ولكن أقل من تصرف مضخات الضغط الديناميكى حيث أن سرعة الدوران وحجم الإسطوانة لا يمكن زيادته لتجنب قوى القصور الذاتى. وتستخدم هذه المضخات فى الأغراض الصناعية التى تتطلب ضغط مرتفع وتصرف قليل قبل المكابس ومضخات تغذية الغلايات فى محطات توليد القوى

الكهربية وفى التطبيقات الزراعية مثل موتورات رش المبيدات وفى حقن الأسـمدة فى مياه الرى وأيضا فى رفع المياه الأرضية وخاصة بغرض الشرب.



شكل (٣-٨): التحكم فى تصرف المضخة عن طريق تغيير السرعات

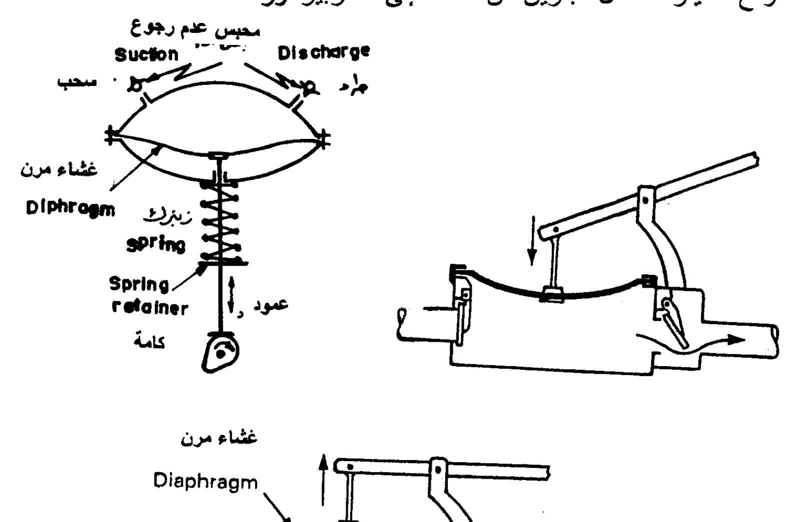


شكل (٣-٩): التحكم فى التصرف عن طريق استخدام أنبوبة رجوع

٢- مضخة الغشاء المرن : Diaphragm Pump

تتكون هذه المضخة كما يوضح شكل (٣-١٠) من جزئين يثبتان معا بمسامير وبينهما غشاء مرن يتحرك حركة ترددية عن طريق عمود وكامة وزنبرك لضمان ملامسة العمود للكامة.

الإستخدام: تستخدم فى الحالات التى يكون فيها الضغط المطلوب منخفض ومن المهم عدم وجود تسرب كما هو الحال فى نقل أنواع الوقود سريعة الإشتعال وكذلك الكيماويات السامة والتى تتفاعل مع المعادن بشدة وتستخدم فى معظم أنواع السيارات لنقل البنزين من التانك إلى الكاربيراتور.



شكل (٣-١٠): مضخة الغشاء المرن

مميزاتها: منخفضة التكاليف نسبيا ولا تحتاج إلى صيانة (صيانتها قليلة جدا) والتسرب فيها يساوى صفرا ولها القدره على ضخ السوائل العالقة *Slurries* والكيماويات القارضة *Corrosive chemicals*.

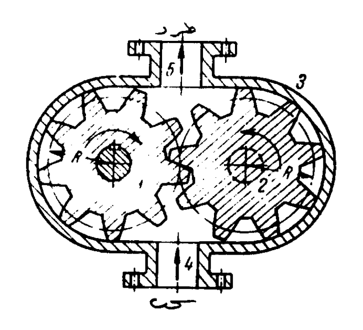
عيوبها: ضغطها محدود نسبيا من ٨ إلى ١٠ بار وتصرفها محدود من ٤٠ إلى ٦٠ لتر/ساعة.

٣-٢ – المضخات الدورانية Rotary Pumps:

٣-٢-١ - المضخة الترسية Gear Pump :

يوضح الشكل (٣-١١) رسم تخطيطى لتصميم المضخة الترسية وهى عبارة عن ترسين ١ , ٢ معشقين يدوران داخل غلاف ٣. أحد هذه التروس قائد *(drive)* رقم ١ ومتصل بعمود الإدارة والترس الآخر ٢ منقاد *(driven)*. أو عاطل *(idle)*. وعندما تدور التروس حسب الإتجاه المبين بالأسهم فإن السائل المحبوس *Trapped* بين أسنان الترس يتجه من غرفة السحب رقم ٤ إلى غرفة الطرد رقم ٥ حيث أن السائل يدفع من الفراغات بين الأسنان عند تعشيق الترسين ببعضهما. والترسان يكونان من نفس المقاس أو متطابقان *Same Size*.

ولا تستخدم هذه المضخه إلا لنقل الزيوت حتى تكون ذاتية التزييت ويكون التسرب من جانب الطرد إلى جانب السحب أقل ما يمكن نتيجة لزوجة الزيت الكبيرة. ويستخدم هذا النوع عادة فى السيارات لنقل الزيت من خزان الزيت (الكرتير) إلى الأجزاء المتحركة التى تحتاج لتزييت. ويلاحظ أن الخلوص بين التروس والغلاف يجب أن يكون صغيرا جدا لتقليل التسرب، وإذا زاد هذا الخلوص تقل الكفاءة الحجمية والتصرف والضغط المانومترى للمضخة بصورة واضحة.



شكل (٣-١١): المضخة الترسية

وكما فى شكل (٣-١٢) المقابل فإن التسرب يحدث أيضا بطريقة أخرى حيث أن جزء من السائل فى فراغات السن f يعود إلى غرفة السحب أى أن التسرب يحدث من جهة الطرد إلى جهة السحب. ونتيجة التسرب تصل الكفاءة الحجمية إلى من ٧٠ إلى ٩٠٪. وتعطى هذه المضخة ضغوط مرتفعة وتصرفات متوسطة بالنسبة لباقى المضخات الإيجابية (تصرفات أكبر من مضخة الغشاء المرن وأقل من الماصة الكابسة) ويشيع إستخدامها لدفع الزيت فى الإسطوانات الهيدروليكية بصفة عامة مثل المكابس والروافع والأوناش الهيدروليكية.

ويحسب تصرف المضخة الترسية كالآتى:

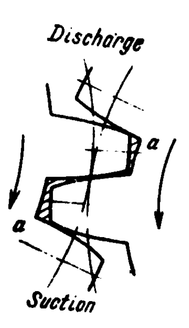
$$Q=2al\,n\frac{N}{60}\eta_{vol}$$

حيث : a = مساحة الفراغ بين سنتين من أسنان الترس.

l = عرض الترس.

n = عدد أسنان الترس الواحد.

N = السرعة الدورانية للترس (لفة/دقيقة) rpm.



شكل (٣-١٢): هروب جزء من السائل من ناحية الطرد إلى ناحية السحب

حيث أن حجم فراغات الترس الواحد = aln

توجد حجم الفراغات في الترس الواحد عمليا بوضع الترس في مخبار مدرج بها سائل بعد سد فتحة عمود الإدارة فيكون حجم السائل المزاح مساوى للحجم الفعلي للترس. وبحساب حجم الترس لو كان مصمتا من المعادلة:

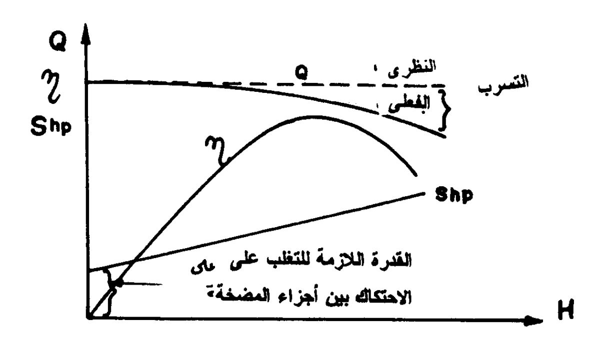
$$V_{solid} = \frac{\pi}{4} D^2 l$$

حيث D = القطر الخارجي للترس.

فإنه يمكن حساب حجم الفراغات في الترس بحساب الفرق بين حجم الترس المصمت وحجمه الفعلي $a\,ln = V_{sloid} - V_{actual}$

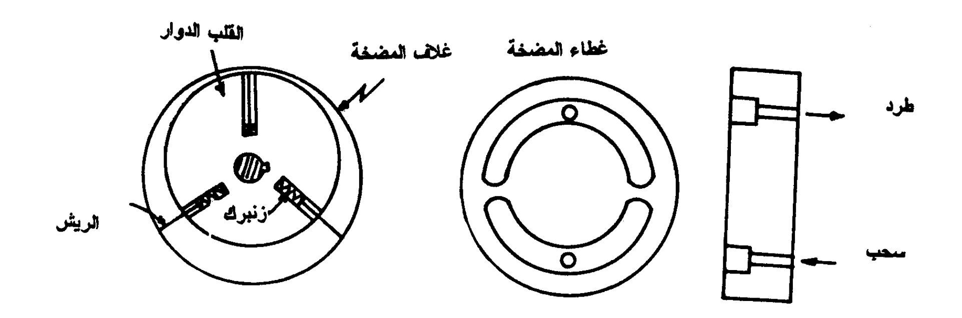
ونلاحظ أنه عند عكس إتجاه دوران التروس ينعكس إتجاه السريان في خطوط الأنابيب المتصلة بالمضخة *(Reversibility)*. ويلاحظ أيضا أن طريقة تغيير التصرف تتم إما عن طريق إستخدام خط رجوع أو تغيير سرعة الدوران. ومنحنيات آداء المضخة الترسية كما بالشكل (٣-١٣)

ملحوظة: جميع أنواع المضخات الإيجابية ينطبق عليها هذه المنحنيات للأداء .



شكل (٣-١٣): منحنيات آداء المضخة الترسية

٣-٢-٢- مضخة الريش Vane Pump:



شكل (٣-١٤): طريقة عمل مضخة الريش

تتكون مضخة الريش كما فى الشكل رقم (٣-١٤) من غلاف خاجى مستدير وقلب دوار عبارة عن قرص مستدير به شقوق فى إتجاه نصف القطر تتحرك داخلها ريش ذات سمك صغير بحيث تظل دائما ملامسة للغلاف الخارجى. ويكون مركز القلب الدوار غير منطبق على مركز الغلاف. لضمان ملامسة الريش للغلاف يوضع خلفها زنبركات داخل الشقوق أو تعتمد على القوة الطاردة المركزية فى حالة السرعات العالية للدوران، أثناء دوران القلب الدوار نجد أن حجم الفراغ بين أى ريشتين يتعرض للزيادة أو النقصان حسب وضعهما فى الغلاف لذلك تتم عملية السحب أثناء نصف الدورة وعملية الطرد أثناء النصف الآخر لذلك تصنع بالغطاء مجارى للسحب والطرد على شكل نصف دائرة تقريبا كما فى الشكل.

يستخدم هذا النوع من المضخات أيضا للزيوت لضمان تزييت كافى للريش داخل الشقوق ولنقط تلامسها مع الغلاف لمنع التآكل وتعطى تصرفات وضغوط مقاربة لمضخة التروس وتستخدم لنفس الأغراض.

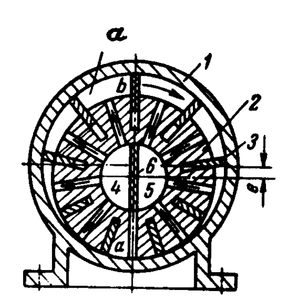
ويوجد هناك نوعان من مضخات الريش والنوع الأول وهو مبين بالشكل (٣-١٥) وهو ذو تغذية خارجية *external Supply* ويتركب من قلب (٢) يدور داخل الغلاف (١) وتتحرك الريش (٣) *Vane* أو *Gates* قطريا فى شقوق داخل القلب. ويوضع الغلاف من الداخل بحيث أن غرفة السحب (٤) يفصلها عن غرفة الطرد (٥) الريش والسطح الأسطواني المحكم *cd , Ab*. وللتشغيل العادى للمضخة يجب ألا يقل طول الوتر *Ab* والوتر *cd* عن طول المسافة بين الريش وبعضها، فعندما يدور القلب فإن السائل ينحسر (ينحبس) نتيجة اللامركزية بين

الغلاف والقلب الدوار *(e)* فى الفراغ *(a)* بين الريش وينتقل هذا الحجم من السائل من جهة السحب إلى جهة الطرد.

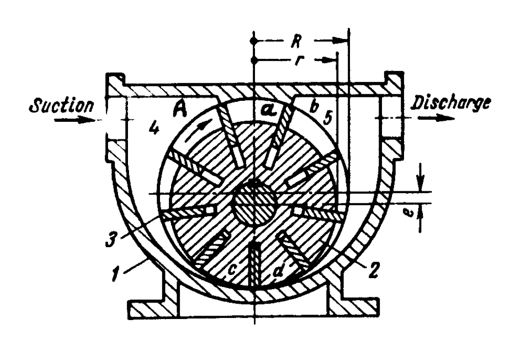
والنوع الثانى من هذه المضخات مبين فى شكل (٣-١٦) وهو ذو تغذية داخلية *internal supply* وهذا النوع يتشابه مع النوع الأول ولكن يختلف عنه فى طريقة السحب والطرد فقط، فهو يتكون من الغلاف (١) والقلب الدوار (٢) والريش (٣). حيث يسحب السائل ويضخ من فتحة محورية فى القلب الدوار وتقسم هذه الفتحة إلى غرفتين واحدة للسحب (٤) والأخرى للطرد (٥) بواسطة حائط محكم (٦).

وحجم السائل المنصرف بين زوج من الريش فى الفتحة الواحدة من عمود الإدارة هو a.l ويحسب التصرف كالآتى:

$$Q = a\,l\,n\frac{N}{60}\eta$$



شكل (٣-١٥): مضخة ريش ذات تغذية داخلية



شكل (٣-١٦): مضخة ريش ذات تغذية خارجية

حيث n : عدد الريش.

l : عرض الريشة.

a : مساحة الفراغ بين ريشتين متجاورتين.

N : عدد اللفات (لفة/الدقيقة) *rpm* .

وتتراوح الكفاءة الحجمية η_{vol} بين ٠,٩٤ إلى ٠,٩٨ نتيجة التسرب من الخلوصات من جانب الطرد إلى جانب السحب .

عند عكس إتجاه الدوران فى النوعين السابقين من المضخات الريشيه ينعكس اتجاه السريان *(reversible)*. أما إذا كان السائل مندفع بضغط إبتدائى عند دخول المضخة وفتحة السحب فإن ذلك يتحول إلى عزم دوران على عمود الإدارة *(convertible)*.

ويمكن تغيير التصرف في هذه المضخة عن طريق إحدى الطرق الآتية:

١- خط رجوع من جهة الطرد إلى جهة السحب.

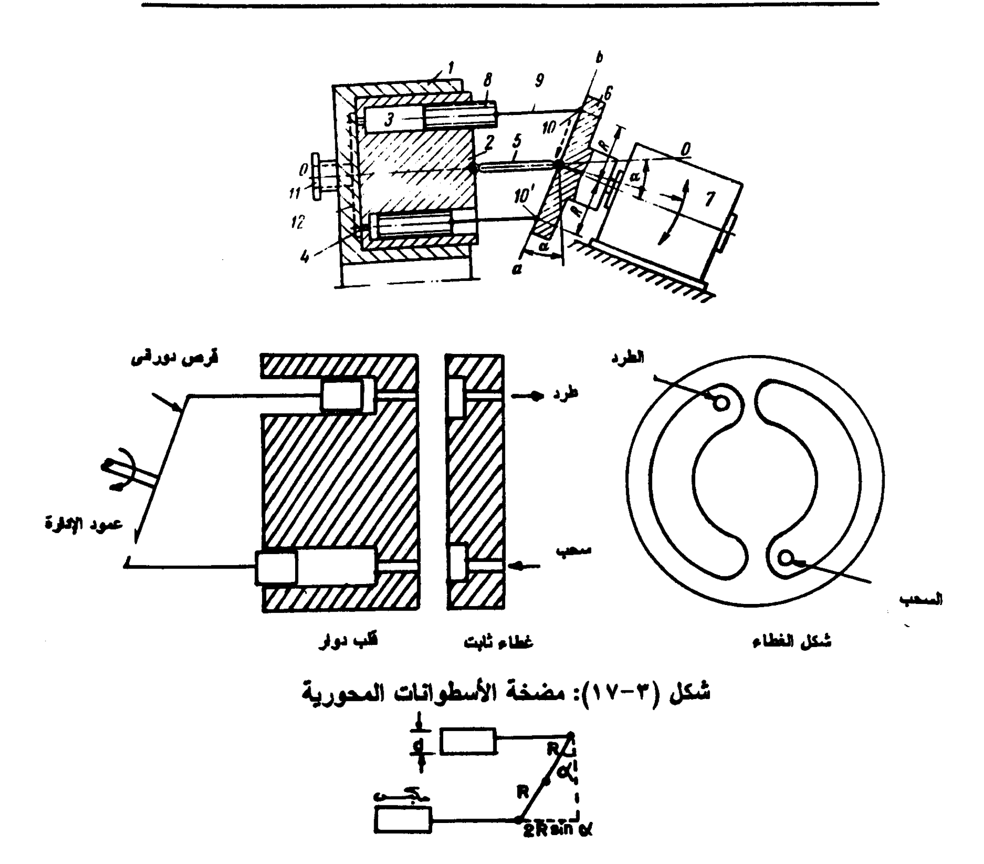
٢- تغيير السرعة الدورانية N.

٣- تغيير مقدار اللامركزية *eccentricity (e)* بين القلب الدوار والغلاف (لاحظ أنه إذا كان مركز القلب بنطبق على مركز الغلاف أى أن $e = 0$ فإن التصرف $Q = 0$ أيضا).

٣-٢-٣- مضخة الأسطوانات الدورانية Rotary Piston Pumps:

تنقسم هذه المضخات إلى مجموعتين الأولى مضخة الأسطوانات المحورية Radial كما فى شكل (٣-١٧)، والأخرى مضخة اللأسطوانات القطرية Radial كما فى شكل (٣-١٧). والقلب الدوار (٢) يدخل بإحكام داخل الغلاف الثابت (١) ويدور بحرية داخلة حول المحور 0-0 كما فى شكل(٣-١٧). وداخل القلب الدوار (٢) يوجد إسطوانات (٣) محورها موازى لمحور الدوران 0-0 ومن هنا يطلق على هذه المضخة أيضا " مضخة الإسطوانات المتوازية ". وتتصل رأس الإسطوانات (٣) بفتحات تغذيه (٤). ويتصل القلب الدوار (٢) بالقرص المائل (٦) المتصل بعمود المحرك الكهربى (٧) عن طريق عمود مفصلى (٥) *universal joint shaft* وتتصل المكابس (٨) بالقوص الدوار المائل (٦) عن طريق ذراع توصيل (٩). فعندما يدور القرص (٦) والقلب (٢) فإن المفاصل ١٠، ١٠ ترسم دائرة فى مستوى ab والذى يميل بزاوية α على مستوى الدوران. وهكذا تتحرك المكابس (٨) داخل الإسطوانلت (٣) مسافة محورية (المشوار) S تساوى

$$Stroke = S = 2R\sin\alpha$$



شكل (٣-١٧): مضخة الأسطوانات المحورية

وعندما يتحرك المفصل ١٠ إلى أعلى يتحرك المكبس إلى خارج الإسطوانة محدثا شوط السحب فيدخل السائل من الفتحة رقم (١١) ومنها إلى المجرى رقم (١٢) الى فتحة السحب فى رأس الإسطوانه رقم (٤). أما مشوار

الطرد فيحدث عند تحرك المفصل ١٠ إلى أسفل فيتحرك المكبس إلى داخل الإسطوانة محدثا شوط الطرد.

ويحسب التصرف من هذه المضخة كالآتى:

$$Q = \frac{\pi}{4} d^2 s n \frac{N}{60} \eta_{vol}$$

$$Q = 2R \sin\alpha \frac{\pi}{4} d^2 n \frac{N}{60} \eta_{vol}$$

حيث d : قطر المكبس.

n : عدد الإسطوانات.

N : سرعة الدوران (لفة/الدقيقة).

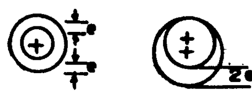
η_{vol} : الكفاءة الحجمية وتساوى ٠,٩٧ لهذه المضخة.

ويلاحظ أن عكس إتجاه الدوران يعكس إتجاه السريان *(reversible)* فإذا دفع السائل من فتحة السحب تحت ضغط فإنه يدفع المكبس بقوة مما يتسبب فى إدارة القرص رقم (٦) حيث تتحول مركبات القوى المماسة إلى عزم دوران *torque* على عمود القرص *Plate shaft*.

شكل رقم (٣-١٨) يوضح رسم تخطيطى لتصميم مضخة إسطوانات قطرية *radial piston pump* والإسطوانات القطرية (٢) في داخل القلب الدوار (١) تعمل كإسطوانات بداخلها مكابس (٣) ورأس هذه المكابس يلامس سطح الغلاف الداخلى (٤) ويعمل كدليل للمكابس ومركز لقلب الدوار (١) لاينطبق على مركز الغلاف (٤) بمسافه لا مركزية قدرها e *eccentricity* . ويفصل الحائط رقم (٥) الموجود بدلخل القلب الدوار الى غرفتين واحدة للسحب وهى رقم (٦) والأخرى للطرد رقم (٧) فعندما يتحرك القلب الدوار فى اتجاه عقرب

الساعة فإن المكابس تتحرك فى القوس ab بعيدا عن المركز وبذلك تسحب السائل من غرفة السحب (٦). ويقدر طول مشوار المكبس S كالآتى:

$$Stroke = S = 2e$$

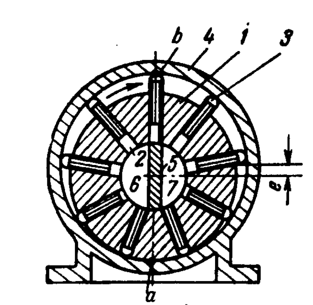


ويحسب التصرف كالآتى:

$$Q = \frac{\pi}{4}\, d^2\, 2e\, n \frac{N}{60}\, \eta_{vol}$$

η_{vol} : الكفاءة الحجمية وتساوى ٠,٩٧ لهذه المضخة.

وأيضا عند عكس إتجاه الدوران يعكس إتجاه السريان *(reversible)* وإذا دفع السائل للمضخة من فتحة السحب تحت ضغط فإنه يدفع المكابس بقوة مما يتسبب فى توليد عزم دوران على القلب الدوار ويسمى ذلك *convertible*: هذه المضخة تعطى ضغوط أعلى نسبيا من مضخة الريش والتروس وسعرها مرتفع وتستخدم للزيت فقط لتكون ذاتية التزييت.



شكل (٣-١٨): مضخة الأسطوانات القطرية



الباب الرابع

تكاليف تشغيل المضخات

الباب الرابع

تكاليف تشغيل المضخات

غالباً ما يطلب من المهندس مقارنة تكاليف الضخ لعدة أنواع من الطلمبات التى تدار بالكهرباء أو آلات الأحتراق الداخلى (محركات الديزل). وقد يتطلب الأمر أيضاً حساب تكاليف ضخ المياه لتحديد تكاليف الرى. والغرض من التعرض لهذا الموضوع هنا هو إلقاء الضوء على العوامل المختلفة التى يجب أخذها فى الأعتبار عند حساب تكاليف الضخ عند طرد الطلمبة وعند حساب تكاليف تشغيل المضخات يجب أولاً تحديد سعة المضخة وكمية المياه المطلوب ضخها.

حساب سعة المضخة:

لكى يتم حساب سعة المضخة يجب أولاً معرفة الإحتياجات المائية لعملية الضخ فإذا كانت منزلية يتم حساب الإحتياجات المائية المنزلية. وإذا كانت بغرض الرى يتم حساب الإحتياجات المائية للمحاصيل المطلوب زراعتها.

الاحتياجات المائية المنزلية

احتياجات الفرد لمختلف الأغراض	٢٠٠ لتر/يوم
احتياجات الخيل أو المواشى	٤٠ لتر/يوم
احتياجات البقرة الحلوب	١٢٠ لتر/يوم
احتياجات الأغنام	٦لتر/يوم
احتياجات ١٠٠ فرخة	٢٠لتر/يوم

حنفية مياه شرب (سريان مستمر)	١٥٠-٣٠٠لتر/يوم
تصرف دش الحمام	١م^٣/س
تصرف حنفية حوض المطبخ	٠,٥ - ١م^٣/س
تصرف المرحاض	١م^٣/س
تصرف خرطوم بفوهة ١/٢ بوصة	٠,٥ - ٠,٧٥ م^٣/س
تصرف حرطوم بفوهة ٣/٤ بوصة	١م^٣/س

الاحتياجات المائية للمحاصيل (الرى)

يمكن الحصول على الاحتياجات المائية للمزروعات المختلفة من الجداول المختلفة وذلك للوجه القبلى ومصر الوسطى والوجه البحرى كما فى الجدول (٤-١، ٤-٢، ٤-٣). وبوجه عام فإن الاحتياجات المائية تتراوح بين ٦-٩مم/يوم أى حوالى ٢٥م^٣ فدان/يوم إلى ٣٨م^٣/ فدان.يوم وذلك عند أقصى الاحتياجات وهى خلال أشهر يونيو ويوليو وأغسطس حيث الرقم ٦مم/ يوم للمناطق المعتدلة - ٩مم/يوم للمناطق الصحراوية والحارة.

جدول (٤-١): الاحتياجات المائية النظرية لمنطقة مصر العليا (وجه قبلي) بالسنتيمترات

المحصول	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	اغسطس	سبتمبر	اكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	الاجمالي
شعير	٧,٥٩	١٠,١٩	١٢,٥٩	١١,٦٩							٢,١٩	٦,٩٠	٥١,١٦
موالح	٥,٠٩	٦,٣١	٨,٤٠	١٤,٠٠	١٤,٠٠	١٥,٩٠	١٥,٩٠	١٥,١٩	١٢,٦٩	١٠,٠٩	٦,٣١	٥,٠٩	١٢٨,٩٧
برسيم	٦,٥٠	١٠,٠٠	١٤,٩٠	١٦,٦٩	١٤,٠٠						٥,٨١	٦,٥٠	٧٤,٣٩
برسيم تحريش	٦,٥٠	٩,٥٠									٥,٨١	٦,٥٠	٢٨,٣٠
قطن	١٠,٣١	١٢,٥٠	١٤,٨١	١٤,٩٠	٢٣,٣٠	١١,٨١		•					٨٧,٦٣
كتان	٩,٥٠	١٠,٠٠	٦,٥٠								٣,٥٠	٦,٥٠	٣٥,٩٩
فاكهة متساقطة الاوراق			٧,٩٠	١١,١٩	١١,٩٠	١٢,٦٩	١٥,١٩	١٧,٠٩	١٦,٨١	١١,٣١			١٠٤,٠٧
فول سوداني				٧,٠٠	١٣,٠٠	١٥,٠٠	١٦,٠٠	٥,٠٠					٥٥,٩٩
فول	٧,٤٠	١٠,١٩	١٢,٤٠								٥,٨١	٧,٣١	٤٣,١١
عدس	١٠,٠٠	١٠,٠٠	٧,٠٠								٤,٠٠	٧,٥٠	٣٨,٤٩
ذرة نيلي							٦,٣١	١٦,٩٠	١٩,٤٠	١٣,٥٩	٢,٥٩		٥٨,٨٠
ذرة صيفي					٥,٨١	١٦,٤٠	٢٣,٨٠	١٧,٥٠	٣,٣١				٦٦,٨٢
بصل صيفي				٦,٠٠	١١,٠٠	١٤,٠٠	١٧,٠٠	١٦,٥٠	٦,٠٠				٧٠,٤٩
بصل شتوي	٧,٥٠	٨,٩٠	١١,٠٩	٩,٠٠								٤,٥٠	٤٠,٩٩

جدول (٤-١): الاحتياجات المائية النظرية لمنطقة مصر العليا (وجه قبلى) بالسنتيمترات

المحصول	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	اغسطس	سبتمبر	اكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	الاجمالى
طاطس صيفى		٥,٨١	١٢,٤٠	١٦,٤٠	١٤,٣١								٤٨,٩٢
بطاطس نيلى	١١,٤٠							•		٣,١٩	٦,٩٠	١١,٦٩	٣٣,١٨
أرز (بدار)													
أرز (شتل)													
سمسم					٤,٨١	١٦,٠٠	١٨,٨١	٨,٠٠					٤٧,٦١
ذرة رفيعة						١٠,١٩	١٩,١٩	٢٢,٩٠	١٣,١٩				٦٥,٤٦
فول صويا					١٦,٠٩	٢٦,٨٠	٢٥,١٩	٥,٣١					٧٣,٣٩
قصب سكر	٨,٤٠	٩,٩٠	١٣,٦٩	٢٤,١٩	٢٦,١٩	٣٠,٤٠	٢٩,٥٩	٢٥,٠٠	٢٠,٠٩	١٣,٩٠	٩,٣١	٦,١٩	٢١٦,٨٤
طماطم نيلى	١١,٤٠									٣,١٩	٦,٩٠	١١,٦٩	٣٣,١٨
طماطم صيفى		٥,٨١	١٢,٤٠	١٦,٤٠	١٤,٣١								٤٨,٩٢
طماطم شتوى	٤,٥٠							١,٥٩	٧,٨١	١٠,٩٠	١٠,٩٠	٨,٥٩	٤٤,٣٠
خضروات صيفى		٠,٤٠	٢,١٩	٣,٤٠	٦,١٩	١٦,٥٩	١٠,٣١	٤,٨١	٤,٤٠	٤,٦٩	٢,٨١		٥٥,٨٠
خضروات نيلى						٠,٦٠	٢,٦٩	٦,٦٩	١٠,٤٠	٨,٩٠	٧,١٩	٥,٠٩	٤١,٥٦
خضروات شتوى	٢,٨١	١,٥٩	١,٦٩	١,٤٠				٠,٦٩	٥,٠٠	٩,٤٠	٨,٩٠	٦,٨١	٣٨,٣٠
قمح	٧,٥٩	١٠,١٩	١٣,٥٩	١١,٦٩							٢,١٩	٦,٩٠	٥٢,١٦

المصدر: وزارة الموارد المائية والرى

جدول (٤-٢): الاحتياجات المائية [illegible]رية لمنطقه مصر الوسطى بالسنتيمترات

المحصول	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	اغسطس	سبتمبر	اكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	الاجمالى
شعير	٦,٣١	٧,٨١	١٣,٣١	١١,٥٩	١,٦٩						١,١٠	٥,٨١	٤٧,٦١
موالح	٤,٨١	٦,٠٠	٨,٤٠	١٣,٤٠	١٤,٣١	١٤,٩٠	١٤,٩٠	١٤,٤٠	١٢,٠٠	٩,٥٩	٦,٠٠	٤,٨١	١٢٣,٥٢
برسيم	٥,٩٠	٨,٤٠	١٢,٩٠	١٥,٨١	١٣,٠٩						٥,٥٠	٦,١٩	٦٧,٨٠
برسيم تحريش	٥,٩٠	٨,٤٠									٥,٥٩	٦,١٩	٢٦,٠٩
قطن			٣,٠٠	٩,٣١	١٥,٧٨	١٩,٥٠	٢١,٨١	١٠,١٩	٥,٠٠				٨٤,٥٨
كتان	٨,٥٠	٩,٠٠	٣,٥٠								٤,٥٠	٨,٠٠	٣٣,٤٩
فاكهة متساقطة الاوراق			٧,٠٩	١٠,٦٩	١١,٤٠	١٢,٤٠	١٤,٣١	١٦,١٩	١٥,٦٩	١٠,٨١			٩٨,٥٨
فول سودانى				٥,٥٠	١٠,٠٠	١٢,٥٠	١٢,٠٠	٤,٥٠					٤٤,٤٩
فول	٦,٥٠	٧,١٩	١١,٩٠	٢,٤٠							٣,٤٠	٥,٩٠	٣٧,٣٠
عدس	٨,٥٠	٨,٥٠	٣,٥٩							١,٤٠	٤,٨١	٩,٠٠	٣٥,٨٠
ذرة نيلى							٦,٠٠	١٥,٨١	١٧,٩٠	١٢,٥٩	٢,٦٩		٥٤,٩٩
ذرة صيفى					٤,٩٠	١٥,١٩	٢٢,٤٠	١٦,١٩	٣,٥٠				٦٢,١٨
بصل صيفى				٦,٠٠	١١,٠٠	١٤,٠٠	١٧,٠٠	١٦,٥٠	٦,٠٠				٧٠,٤٩
بصل شتوى	٧,٦٩	٨,٥٩	١٠,٩٠	٧,٦٩								٥,١٩	٤٠,٠٦

جدول (٤-٢): الاحتياجات المائية النظرية لمنطقة مصر الوسطى بالسنتيمترات

المحصول	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	اغسطس	سبتمبر	اكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	الاجمالى
بطاطس صيفى		٥,٠٠	١٠,٨١	١٤,٨١	١٤,٠٠								٤٤,٦١
بطاطس نيلى	٩,٠٠									٢,٩٠	٥,٩٠	٩,٩٠	٢٧,٧١
أرز (بدار)					٣,٥٩	٢١,٤٠	٣٠,٦٨	٣٤,٦٨	٣٣,٩٠	٨,٨١			١٦٣,٠٦
أرز (شتل)					٠,٥٠	٣,٠٩	٣٠,٦٨	٣٤,٦٨	٣٣,٩٠	٨,٨١			١١١,٦٧
سمسم					٤,٥٩	١٥,٦٩	١٧,٨١	[illegible]					٤٥,٥٩
ذرة رفيعة						١٠,١٩	١٩,١٩	٢٢,٩٠	١٣,١٩				٦٥,٤٦
فول صويا					١٣,٦٩	٢٢,٥٠	٢١,١٩	٤,١٩					٦١,٥٦
قصب سكر	٤,٦٩	٧,٠٠	١٠,١٩	١٢,٣١	١٧,٠٩	١٨,٣١	٢٠,٥٠	٢٢,٥٩	٢١,٣١	١٦,٤٠	١٢,٩٠	٧,٤٠	١٧٠,٦٨
طماطم نيلى	٩,٠٠									٢,٩٠	٥,٩٠	٩,٩٠	٢٧,٧١
طماطم صيفى		٥,٠٠	١٠,٨١	١٤,٨١	١٤,٠٠								٤٤,٦١
طماطم شتوى	٣,٦٩							١,١٩	٦,٣١	٦,٩٠	١٠,٥٠	١٠,٠٩	٣٨,٦٨
خضروات صيفى		٠,٣١	٢,٠٩	١,٨١	٤,٠٩	٨,٠٠	١٠,٠٠	٥,١٩	٤,١٩	٤,٥٩	٢,٩٠	١,٨١	٤٤,٩٩
خضروات نيلى						٠,٥٠	٢,٤٠	٦,١٩	٩,٥٩	٨,١٩	٦,٥٩	٤,٦٩	٣٨,١٦
خضروات شتوى	٢,٩٠	٢,٩٠	١,٥٩	١,٣١				٠,٦٠	٤,١٩	٨,٠٠	٨,٥٩	٦,٥٩	٣٦,٧٨
قمح	٦,٣١	٧,٨١	١٣,٣١	١١,٥٩	١,٦٩						١,١٠	٥,٨١	٤٧,٦١

المصدر: وزارة الموارد المائية والرى

جدول (٤-٣): الاحتياجات المائية النظرية لمنطقة الدلتا (وجه بحرى) بالسنتيمترات

المحصول	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	اغسطس	سبتمبر	اكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	الاجمالى
شعير	٤,٢٨	٥,٥٠	٩,٥٩	١٠,٥٠	٣,٤٠			٠			٠,٦٩	٤,٤٠	٣٨,٣٧
موالح	٤,٦٩	٥,٨١	٨,١٩	١٢,٩٠	١٢,٩٠	١٤,٥٩	١٤,٥٩	١٤,٠٠	١١,٦٩	٩,٣١	٥,٨١	٤,٦٩	١١٩,١٧
برسيم	٥,٣١	٦,٣١	٩,٤٠	١٤,١٩	١١,٦٩						٤,٤٠	٥,٠٠	٥٦,٣٠
برسيم تحريش	٥,٣١	٦,٣١									٤,٤٠	٥,٠٠	٢١,٠٢
قطن			٢,٦٩	٥,٥٠	١٢,٣١	١٥,٤٠	١٧,٦٩	٩,١٩	٤,٣١				٦٧,٠٨
كتان	٨,٥٠	٩,٠٠	٣,٥٠								٤,٥٠	٨,٠٠	٣٣,٤٩
فاكهة متساقطة الاوراق			٧,٦٩	١٠,٤٠	١٠,٨١	١٢,٠٩	١٣,٨١	١٥,٤٠	١٥,٠٠	١٠,٤٠			٩٥,٦٠
فول سودانى				٥,٥٠	١٠,٠٠	١٢,٥٠	١٢,٠٠	٤,٥٠					٤٤,٤٩
فول	٤,٩٠	٦,٩٠	٩,٠٠	٤,٢٨							١,٣١	٤,٠٩	٣٠,٤٩
عدس	٤,٥٠	٨,٥٠	٣,٥٩							١,٤٠	٤,٨١	٩,٠٠	٣١,٨٠
ذرة نيلى							٥,٩٠	١٦,٤٠	١٧,٥٩	١١,٠٩	٢,٥٩		٥٣,٥٨
ذرة صيفى					٤,٨١	١٣,٣١	٢٠,٠٩	١٦,٥٠	٣,١٩				٥٧,٨٩
بصل صيفى				٦,٠٠	١٠,٥٠	١٤,٠٠	١٦,٠٠	١٥,٥٠	٥,٥٠				٦٧,٤٩
بصل شتوى	٧,٦٩	٧,٥٩	١٠,٩٠	٧٠٦٩								٥,١٩	٣٩,٠٦

المحصول	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	اغسطس	سبتمبر	اكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	الاجمالى
بطاطس صيفى		٥,٠٠	٩,٨١	١٤,٨١	١٣,٨١								٤٣,٤٢
بطاطس نيلى	٨,٣١									٢,٩٠	٥,٠٠	٨,٨١	٢٥,٠٢
أرز (بدار)													
أرز (شتل)							٣٠,٦٨	٣٤,٦٨	٣٣,٩٠	٨,٨١			١٠٨,٠٧
سمسم					٤,٥٠	١٥,٠٠	١٦,٥٠	٧,٠٠					٤٢,٩٩
ذرة رفيعة													
فول صويا					١١,٠٩	١٩,٥٠	١٣,٩٠	٣,٥٩					٤٨,٠٩
قصب سكر	٤,٦٩	٧,٠٠	١٠,١٩	١٢,٣١	١٧,٠٩	١٨,٣١	٢٠,٥٠	٢٢,٥٩	٢١,٣١	١٦,٤٠	١٢,٩٠	٧,٤٠	١٧٠,٦٨
طماطم نيلى	٨,٣١									٢,٩٠	٥,٠٠	٨,٨١	٢٥,٠٢
طماطم صيفى		٥,٠٠	٩,٨١	١٤,٨١	١٣,٨١			•					٤٣,٤٢
طماطم شتوى	٧,٦٩								٢,٥٠	٨,٥٠	١٠,٠٩	٩,٨١	
خضروات صيفى			١,١٠	٦,٤٠	٨,١٢	٩,٥٩	٧,٠٠	٤,١٩	٤,٥٠	٢,٨١	١,٦٩		٤٥,٤٠
خضروات نيلى							٠,٩٠	٥,١٩	١٠,٠٠	٩,٣١	٦,٩٠	٤,٤٠	٣٨,٧١
خضروات شتوى	٥,١٩	٢,٩٠	١,٥٩	١,٣١					٢,٠٠	٦,٨١	٥,٤٠	٧,١٩	٣٢,٤٠
قمح	٤,٢٨	٥,٥٠	٩,٥٩	١٠,٥٠	٣,٤٠						٠,٦٩	٤,٤٠	٣٨,٣٧

المصدر: وزارة الموارد المائية والرى

طريقة حساب سعة (تصرف) المضخة المستخدمة فى الرى:

بعد معرفة الاحتياجات المائية للمحاصيل المطلوب زراعتها يمكن استخدام المعادلة التالية فى حالة توافر المياه باستمرار وعدم وجود مناوبات للرى.

$$Q = \frac{4.2 ET_c \times A}{E_i \times H}$$

حيث:

Q : **تصرف المضخة م٣/س**

Et_c: **الاحتياجات المائية مم/يوم**

A : **المساحة المطلوب ريها بالفدان.**

E_i : **كفاءة الرى وهى حوالى ٠,٥ – ٠,٦٠ فى الرى بالغمر.**

٠,٧٥ فى الرى بالرش.

٠,٨٥ فى الرى بالتنقيط.

H : عدد ساعات التشغيل اليومى للمضخة فى وقت أقصى الاحتياجات خلال الصيف أما فى حالة خضوع المنطقة لنظام مناوبات الرى فإن تصرف المضخة يحسب كالآتى:

تصرف المضخة (م٣/س) =

$$\frac{\text{المساحة بالفدان} \times \text{الاحتياجات المائية م}^3\text{/فدان. يوم} \times \text{مدة المناوبة}}{\text{مدة العمالة باليوم} \times \text{ساعات التشغيل اليومى} \times \text{كفاءة نظام الرى}}$$

مثال:

المطلوب حساب تصرف الطلمبة اللازمة لرى مساحة ٥ فدان وكانت الاحتياجات المائية ٣٠م٣/ فدان. يوم وكفاءة نظام الرى بالغمر ٦٠٪ والمناوبة ثلاثية مدتها ١٨ يوم (٦عمالة + ١٢ بطالة). وكانت ساعات التشغيل اليومى ١٥ ساعة.

الحل:

تصرف المضخة = (١٨ × ٣٠ × ٥) / (٦ × ١٥ × ٠,٦) = ٥٠م٣/س

مثال:

المطلوب حساب تصرف المضخة اللازمة لرى مساحة ٥ فدان وكانت الاحتياجات المائية ٧مم/يوم وكفاءة نظام الرى بالرش ٧٥٪ وساعات التشغيل اليومى ١٢ ساعة.

الحل:

$$Q = \frac{4.2\, ET_c \times A}{E_i \times H}$$

$$= \frac{4.2 \times 7 \times 5}{0.75 \times 12} = 16.3\, m^3 / hr$$

وفى الأراضى القديمة للوادى والدلتا حيث الرى بالغمر ونظام المناوبات قد تحسب مقننات الرى على أساس ٣٥٠م٣/ فدان/ ريه كل ١٥ يوم (٥عمالة + ١٠ بطالة) لرى القطن والذرة والحدائق والبرسيم والمحاصيل الشتوية أما مناطق زراعة الأرز فتحسب على أساس ٤٢٠ م٣/فدان/ ريه (ريه كل ٨ يوم على أساس ٤ عمالة + ٤ بطالة). وفى مناطق تطوير الرى بالغمر لأراضى الوادى والدلتا قد تحسب تصرف المضخة على أساس تقريبى هو ١ لتر/ث لكل ١ فدان حيث يلغى نظام المناوبات وتطلق المياه بصفة مستمرة فى ترع التوزيع.

تكاليف الضخ: Cost of Pumping

تنقسم تكاليف الضخ إلى تكاليف ثابتة Fixed cost وتكاليف التشغيل Operating cost.

١ – التكاليف الثابتة:

أ- تكاليف الفائدة على رأس المال Interest

وتحسب على أساس سعر الفائدة السائد على متوسط قيمة محطة الضخ بما فى ذلك المأوى والقاعدة ومواسير السحب والضخ ولوحة التحكم وغيرها من المعدات الرأسمالية اللازمة لإنشاء محطة الضخ.

$$\text{التكاليف السنوية لرأس المال} = \frac{\text{القيمة الشرائية}}{٢} \times \text{معدل الفائدة}$$

ب- تكاليف التأمين والضرائب Texas and Insurance

فى حالة وجود مثل هذه التكاليف يمكن اعتبارها تساوى ١٪ من القيمة الشرائية لمحطة الضخ Inital cost.

جـ- تكاليف الاستهلاك

قد تحسب على أساس العمر الأفتراضى لمحطة الضخ أو الأجزاء المختلفة لها أو على اساس زمن التشغيل time of operation. ففى حالة محطات الضخ التى تستخدم أقل من ٢٠٠٠ ساعة فى السنة فإن العمر age الإفتراضى قد يستخدم فى هذه الحالة أما محطات الضخ التى تستخدم أكثر من ٢٠٠٠ ساعة فى السنة اى تستخدم باستمرار خلال السنة فإنه يفضل إستخدام ساعات التشغيل

السنوية. والجدول (٤-٤) يوضح العمر افتراضى والذى يستخدم لحساب الإستهلاك.

جدول (٤-٤) العمر الإفتراضى لمحطات الضخ

الصنف	العمر الإفتراضى
١- بئر	٢٠ سنه
٢- مأوى محطة الضخ	٢٠ سنه
٣- المضخة التوربينية	
المرواح (تمثل ٥٠٪ من قيمة الطلمبة)	١٦٠٠٠ ساعة أو ٨ سنوات
عمود الطلمبة وباقى الأجزاء	٣٢٠٠٠ ساعة أو ١٦ سنة
٤- المضخة الطاردة المركزية.	٣٢٠٠٠ ساعة أو ١٦ سنه
٥- وسائل نقل القدرة	
التروس	٣٠٠٠٠ ساعة أو ١٥ سنه
سيور حرف V	٦٠٠٠ ساعة أو ٣ سنوات
سيور عدلة من المطاط	١٠٠٠٠ ساعة أو ٣ سنوات
سيور عدلة من الجلد	٢٠٠٠٠ ساعة أو ١٠ سنوات
٦- محرك كهربى	٥٠٠٠٠ ساعة أو ٢٥ سنه
٧- محرك ديزل	٢٨٠٠٠ ساعة أو ١٤ سنه
٨- محرك بنزين	
تبريد هواء	٨٠٠٠ ساعة أو ٤ سنوات
تبريد ماء	١٨٠٠٠ ساعة أو ٩ سنوات

٢ – تكاليف التشغيل:

أ– تكاليف الوقود Fuel consumption

– الكهرباء Electric

فى حالة تكاليف الطاقة للمحركات الكهربية

$$kW - hr / 1000\,m^3\ Pumped = \frac{TDH \times 2.72}{Pump\ eff. \times drive\ eff. \times motor\ eff.}$$

حيث: الكيلووات ـ ساعة لضخ ١٠٠٠ م٣ مياه kW - hr/ 1000 m^3 Pumped

TDH : الضاغط الكلى المطلوب من المضخة بالمتر.

Pump eff.: كفاءة الطلمبة كنسبة كسرية decimal.

drive eff. : كفاءة نقل الحركة كنسبة كسرية.

وتساوى ٩٥٪ للتروس – ٩٠ – ٩٥٪ للسيور حرف v

٨٠ – ٩٠٪ للسيور العدلة

motor eff. : كفاءة المحرك كنسبة كسرية.

وتحسب التكاليف السنوية كالآتى:

$$Annual\ Cost = \frac{Total\ No.m^3\ for\ year \times kw - hr / 1000\,m^3 \times cost\ per\ kW - hr}{1000}$$

تكاليف الطاقة السنوية = (كمية المياه بالمتر المكعب × الكيلووات. ساعة/ ١٠٠٠ م٣ × سعر الكيلووات. ساعة) / ١٠٠٠

أما فى حالة معرفة عدد ساعات التشغيل السنوية وقدرة المحرك الفرملية فإنه تحسب التكاليف كالآتى:

$$KW = \frac{Bhp \times 0.735}{motor\ eff.}$$

$$Annual\,Cost = Operating\ hours / year \times KW \times cost\ per\ KW - hr$$

وتحسب القدرة الفرملية من المعادلة الآتية:

$$Bhp = \frac{Q(m^3/h) \times TDH(m)}{270 \times pump\,eff. \times drive\,eff.}$$

- آلات الأحتراق الداخلى Internal Combustion

يمكن حساب معدل استهلاك الوقود بدقة إذا توافرت منحنيات الأداء للشركة لمصنعة للمحرك ولكن فى حالة عدم توافر هذه المنحنيات يمكن حساب معدل استهلاك الوقود كالآتى:

معدل استهلاك السولار للمحرك الديزل (لتر/ساعة) =

٠,٢٠ لتر/ ساعة لكل حصان × قدرة المحرك الفرملية بالحصان

تكاليف التشغيل فى الساعة = القدرة الفرملية بالحصان × استهلاك السولار باللتر لكل حصان فى الساعة × سعر لتر السولار

التكاليف السنوية للسولار = تكاليف لتشغيل فى الساعة × ساعات التشغيل السنوية

ب- تكاليف الزيوت والتشحيم Lubricating Oil and Greases

تهمل تكاليف الزيوت والتشحيم فى حالة استخدام المحركات الكهربية أما فى حالة المحركات الديزل فأنه يتم حساب تكاليف الزيوت كالآتى:

- لتر زيت لكل ٥٠ لتر سولار من استهلاك المحرك.
- أو تكلفة الزيوت قد تقدر بحوالى ١٠٪ من تكاليف الوقود.

جـ- تكاليف صيانة والإصلاح Maintenance and Repairs

التكاليف السنوية للإصلاح والصيانة = $\frac{\text{نصف تكلفة الشراء}}{\text{العمر الإفتراضى بالسنوات}}$

د- تكلفة عامل تشغيل محطة الضخ:

وتعتمد على راتب ميكانيكى التشغيل (سائق الماكينة) فيحسب فى مصر بالشهر وفى حالات أخرى قد يحسب على اساس ساعات التشغيل السنوية ومعدل سعر تشغيل العمالة فى الساعة.

هـ- **التكاليف السنوية** = التكاليف الثابتة + تكاليف التشغيل



الباب الخامس

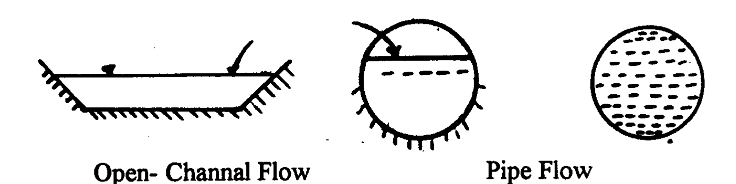
هيدروليكا القنوات المكشوفة

Open - Channel Hydraulic

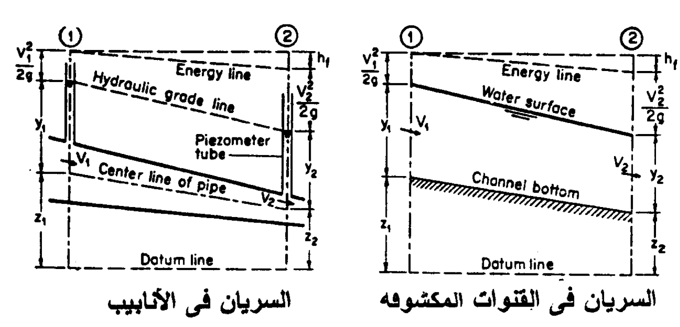
الباب الخامس

السريان فى القنوات المكشوفة

تعتبر القنوات المكشوفة Open Channel لايقتصر على المجارى المفتوحة التى ليس لها غطاء علوى يفصل بينها وبين الجو الخارجى ولكن يشمل أيضاً المجارى المقفلة غير كاملة الأمتلاء مثل الأنفاق والمصارف والبرابخ والمجارى الصحية حيث يكون سطح الماء فيها حراً ويتعرض إلى ضغط متماثل هو الضغط الجوى على طول خط السريان.



ويمكن مقارنة السريان فى القنوات المكشوفة بالسريان فى الأنانبيب بإستخدام معادلة برنولى للطاقة عند نقطتين (١) ، (٢) كما فى الشكل (٥-١).



شكل (٥-١): مقارنة بين السريان فى الأنابيب والقنوات المكشوفة

$$Y_1 + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = Y_2 + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + (h_f)_{1-2} \qquad (1)$$

حيث:

Y = عمق السريان فوق قاع المجرى أو أرتفاع المياه فى البيزومتر فوق مركز الأنبوبة (الضاغط)

Z = بعد قاع المجرى عند مستوى المقارنة Datum أو بعد مركز الأنبوبة عن مستوى المقارنة.

V = سرعة السريان

h_f = الفاقد فى الاحتكاك

وبين شكل (٥-١) تطبيق معادلة برنولى (١) فى حالة السريان فى الأنابيب والسريان فى القنوات المكشوفة.

أنواع السريان Types of Flow

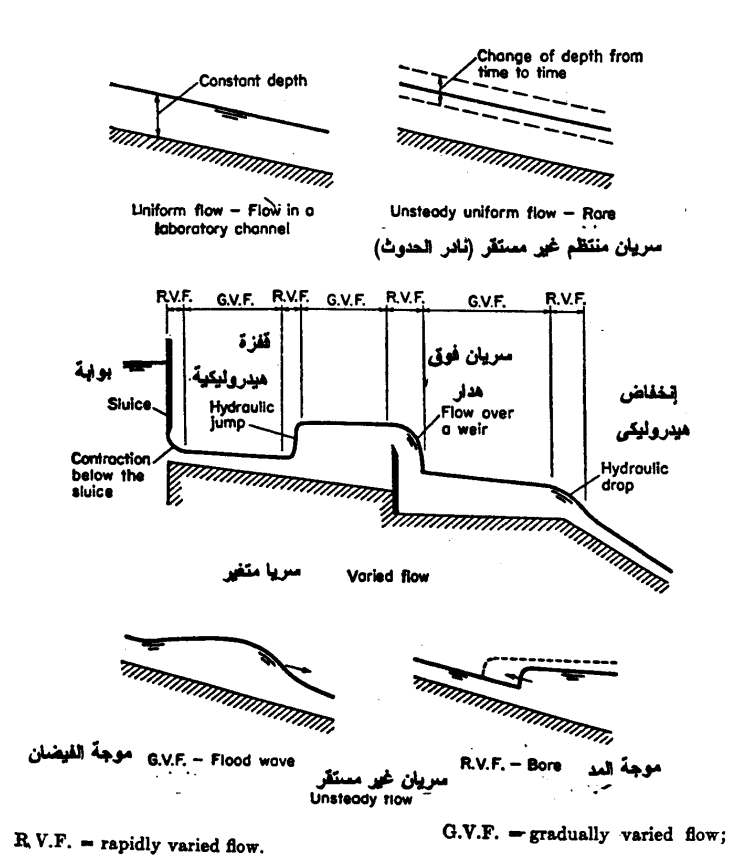
طبقاً لتغير عمق السريان مع الزمن والمسافة يمكن تقسيم الجريان فى القنوات المكشوفة إلى الأنواع التالية شكل (٥-٢):

١ - سريان مستقر Steady Flow

وهو السريان الذى يكون فيه العمق ثابت مع الزمن ويمكن تقسيم السريان المستقر إلى

أ- سريان منتظم Uniform Flow

وفيه يكون عمق السريان ثابت على إمتداد المجرى من مقطع إلى آخر.



شكل (٥-٢): أنواع السريان فى القنوات المكشوفة (المصدر chow)

ب- سريان متغير Varied Flow

وفيه يتغير عمق السريان على إمتداد المجرى. وهو نوعان I سريان متدرج التغير Gradually varied flow وفيه يكون التغير في العمق خلال وحدة الطول على إمتداد المجرى صغير II سريان سريع التغير rapidly varied flow وفيه يكون التغير في عمق السريان فجائي كما يحدث في الهدارات. وأمثلة السريان المستقر موضحة في شكل (٥-٢).

٢- سريان غير مستقر Unsteady Flow

ويعرف على أنه السريان الذي يتغير فيه عمق السريان مع الزمن ويمكن تقسيم السريان غير المستقر أيضاً إلى:

أ- سريان منتظم Unsteady Uniform Flow

وفيه يتغير عمق السريان على إمتداد المجرى بالتساوي مع الزمن وهذه الحالة مستحيلة الحدوث في الطبيعة.

ب- سريان متغير Unsteady Varied Flow

ويمكن تقسيمه إلى:

١- سريان متدرج التغير Gradually varied unsteady flow ومثال هذه الحالة موجة الفيضان التي تتحرك عبر المجرى Flood Wave.

٢- سريان سريع التغير Rapidly varied unsteady flow ومثال هذه الحالة موجة المد Tidal bores والتي قد تحدث في الخلجان غير العميقة Shallow bays وفروعها.

وأمثلة السريان غير المستقر موضحة في شكل (٥-٢)

معادلات السريان المنتظم
Uniform Flow Equations

اوجد المهندس الفرنسي شيزى Chézy العلاقة الأصلية بين سرعة السريان والخواص الهيدروليكية لحالة السريان والفاقد فى الطاقة والتى أتبعها معادلة مانينج Manning's equation بعد مرور مائة عام. (شيزى ١٧٦٩) وكان عمل شيزى فى السريان المنتظم على أساس قياسات ميدانية قام بها فى شمال فرنسا على قناة كوربالت Courpalet Canal ونهر السين Seine River. وتكتب معادلة شيزى على الصورة:

$$V = C\sqrt{RS}$$

حيث:

V = متوسط سرعة السريان

R = نصف القطر الهيدروليكى

S = ميل خط الطاقة متر/متر

C = معامل شيزى ويمثل معامل مقاومة السريان $m^{\frac{1}{2}}/s$

ويعرف نصف القطر الهيدروليكى كالآتى:

$$R = \frac{A}{P}$$

حيث:

A = مساحة مقطع السريان

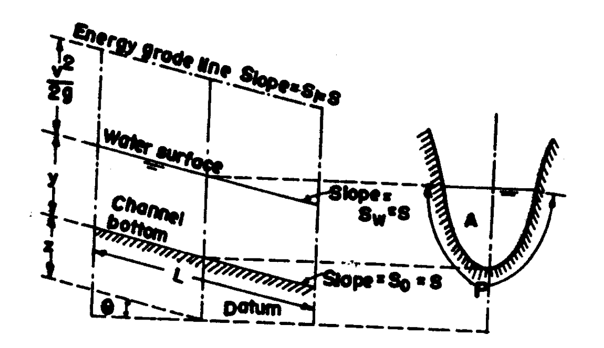
P = المحيط المبتل

يبين شكل (٥-٣) حالة السريان المنتظم لقناة مفتوحة حيث أن السطح الحر معرض للضغط الجوى والذى قيمته ثابتة على جميع نقط هذا السطح فإن السطح الحر يمثل خط الميل الهيدروليكى Hydraulic Grade Line (H.G.L) والذى ميله S_W وحيث أنه لحالة السريان المنتظم يكون عمق السريان ثابت فينتج أن $S_w = S_o$ حيث S_o هو ميل قاع المجرى كما هو مبين بالشكل (٥-٣). وحيث أن السريان المنتظم يعرف بالآتى:

١- عمق السريان ومساحة السريان وسرعة السريان والتصرف عند أى مقطع فى القناة تكون متساوية.

٢- خط الطاقة وسطح الماء وقاع المجرى تكون متوازية لذلك فإن ميول هذه الخطوط تكون متساوية $S_f = S_w = S_o = S$

حيث: S_f هو ميل خط الطاقة



شكل (٥-٣): المصطلحات الخاصة بمعادلة شيزى للسريان المنتظم فى القنوات المكشوفة

أستنتج المهندس الأيرلندى مانينج عام ١٨٨٩ معادلته لتحديد قيمة معامل شيزى C من واقع نتائج مجموعة كبيرة من التجارب كالآتى:

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} \qquad SI\,units$$

$$C = \frac{1.486}{n} R^{1/6} \qquad English\,units$$

n = Kutter's n = Manning's n = معامل مانينج

ولكى تكون قيمة n ثابتة فى كلا النظامين المترى والإنجليزى فإن ١,٤٨٦ تمثل الجذر التكعيبى للتحويل ٣,٢٨٠٨ قدم/متر.
وبتعويض قيمة C فى معادلة شيزى تحصل على معادلة مانينج

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \qquad SI\,units$$

حيث:

V = متوسط سرعة السريان. متر/ث

R = نصف القطر الهيدروليكى لمقطع السريان. متر

S = ميل خط الطاقة وهو نفسه ميل قاع المجرى متر/متر.

حيث أنه فى حالة السريان المنتظم $S_f = S_w = S_o = S$

وتعتبر معادلة مانينج اليوم من أكثر المعادلات إنتشاراً فى العالم لتحليل السريان فى القنوات المكشوفة وذلك لأنها تجمع بين السهولة والدقة فى آن واحد. ويتوقف معامل مانينج (n) للخشونة على خشونة سطح المجرى وتواجد نباتات وكثافتها وإنتظام المجرى واستواءه ووجود عوائق للسريان. ويمكن الإستعانة

بالجداول (جدول ٥-١) لإختيار القيمة المناسبة للمعامل n. ويمكن كتابة معادلة مانينج على الصورة الآتية باستخدام معادلة الاستمرار.

جدول (٥-١): معامل مانينج n

حالة المجرى المائى	قيمة n المستعملة *
القنوات المبطنة	
مجرى مبطن بالأسمنت	٠,٠١٢
مجرى مبطن بالخرسانة (فورم خشبية)	٠,٠١٥
مجرى مبطن بالريش والأسمنت	٠,٠٢٠
مجرى مبطن بالأسفلت الناعم.	٠,٠١٣
مجرى مبطن بالأسفلت الخشن	٠,٠١٦
المجارى الطبيعية	
مجرى فى أرض زلطية ومستقيم ومنتظم.	٠,٠٢٥
مجرى فى أرض زلطية	
مجرى ترابى مستقيم به بعض الحشائش	٠,٠٢٦
مجرى ترابى نظيف به انحناءات	٠,٠٣٠
مجرى ترابى به إنحناءات	٠,٠٥٠

* وبصفة عامة يمكن أخذ 0.02= n للمجارى الجديدة النظيفة، ٠,٠٢٥ للمجارى المتوسطة النظافة، ٠,٠٣ للمجارى المملوءة بالحشائش اما فى المجارى المبطنة بالخرسانة فيتراوح معامل الخشونة بين ٠,٠١٢، ٠,٠١٦ حسب درجة اتقان التبطين

$$Q = V . A$$

$$Q = \frac{1}{n} 4R \quad S'$$

حيث:

Q = التصرف م³/ث

A = مساحة مقطع السريان م²

R = نصف القطر الهيدروليكى متر وهو يساوى $R = \frac{A}{P}$

P = المحيط المبتل.متر.

والجدول (٥-٢) يعطى الخواص الهندسية لمقاطع القنوات المختلفة

مثال:

احسب التصرف لسريان منتظم فى مجرى مائى مقطعه على شكل مستطيل من الخرسانة Unfinished concrete وميل قاع المجرى ٠,٠١٠١ متر/متر وعرض المقطع ١,٨ متر وعمق السريان ٠,٥٤١متر (n = 0.017)

الحل:

$$R = \frac{A}{P} = \frac{1.8(0.541)}{1.8 + 2(0.541)}$$

$$R = 0.338\ m$$

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3}\ S^{1/2}$$

$$V = \frac{1}{0.017}(0.338)^{2/3}(0.0101)^{1/2}$$

$$V = 2.868\ m/s$$

$$Q = V A$$

$$= 2.868\ (0.974)$$

$$2.79\ m^3/s$$

جدول (٥-٢): الخواص الهندسية لمقاطع القنوات المختلفة (المصدر Chow)

GEOMETRIC ELEMENTS OF CHANNEL SECTIONS

Section	Area A	Wetted perimeter P	Hydraulic radius R	Top width T	Hydraulic depth D	Section factor Z
Rectangle	by	$b + 2y$	$\frac{by}{b+2y}$	b	y	$by^{1.5}$
Trapezoid	$(b + zy)y$	$b + 2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b + 2zy$	$\frac{(b+zy)y}{b+2zy}$	$\frac{[(b+zy)y]^{1.5}}{\sqrt{b+2zy}}$
Triangle	zy^2	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$	$\frac{1}{2}y$	$\frac{\sqrt{2}}{2}zy^{2.5}$
Circle	$\frac{1}{8}(\theta - \sin\theta)d_0^2$	$\frac{1}{2}\theta d_0$	$\frac{1}{4}\left(1 - \frac{\sin\theta}{\theta}\right)d_0$	$(\sin\frac{1}{2}\theta)d_0$ or $2\sqrt{y(d_0 - y)}$	$\frac{1}{8}\left(\frac{\theta - \sin\theta}{\sin\frac{1}{2}\theta}\right)d_0$	$\frac{\sqrt{2}}{32}\frac{(\theta - \sin\theta)^{1.5}}{(\sin\frac{1}{2}\theta)^{0.5}}d_0^{2.5}$
Parabola	$\frac{2}{3}Ty$	$T + \frac{8}{3}\frac{y^2}{T}$ *	$\frac{2T^2y}{3T^2+8y^2}$ *	$\frac{3}{2}\frac{A}{y}$	$\frac{2}{3}y$	$\frac{2}{9}\sqrt{6}\,Ty^{1.5}$
Round-cornered rectangle ($y > r$)	$\left(\frac{\pi}{2} - 2\right)r^2 + (b + 2r)y$	$(\pi - 2)r + b + 2y$	$\frac{(\pi/2 - 2)r^2 + (b+2r)y}{(\pi - 2)r + b + 2y}$	$b + 2r$	$\frac{(\pi/2 - 2)r^2}{b+2r} + y$	$\frac{[(\pi/2 - 2)r^2 + (b+2r)y]^{1.5}}{\sqrt{b+2r}}$
Round-bottomed triangle	$\frac{T^2}{4z} - \frac{r^2}{z}(1 - z\cot^{-1}z)$	$\frac{T}{z}\sqrt{1+z^2} - \frac{2r}{z}(1 - z\cot^{-1}z)$	$\frac{A}{P}$	$2[z(y - r) + r\sqrt{1+z^2}]$	$\frac{A}{T}$	$A\sqrt{\frac{A}{T}}$

* Satisfactory approximation for the interval $0 < x \leq 1$, where $x = 4y/T$. When $x > 1$, use the exact expression $P = (T/2)[\sqrt{1+x^2} + 1/x \ln(x + \sqrt{1+x^2})]$.

حالة السريان State of Flow

فى السريان داخل الأنابيب تسود قوى القصور الذاتى Inertial Forces وقوى اللزوجة Viscous Forces أما السريان فى القنوات المكشوفة فتسود فيه كل من قوى القصور الذاتى وقوى الجاذبية gravity force ولبيان حالة السريان تم استنتاج أرقام لابعدية Dimensionless Numbers مثل رقم رينولد (R_e) Reynold's Number لوصف السريان فى الأنابيب ورقم فرود Froude Number (F_r) لوصف السريان فى القنوات المكشوفة. ويمكن تعيين كل من الرقمين كالآتى:-

$$\text{inertia force} = Ma = \rho L^3 \left(\frac{v^2}{L}\right)$$

$$= \rho v^2 L^2$$

$$\text{viscosity force} = \mu \left(\frac{dv}{dy}\right) A$$

$$= \mu \left(\frac{v}{L}\right) L^2$$

$$= \mu v L$$

$$\text{gravity force} = Mg$$

$$= \rho L^3 g$$

$$R_e = \frac{\text{inertia}}{\text{viscosit}} = \frac{\rho v^2 L^2}{\mu v L} = \frac{\rho v L}{\mu}$$

$$F_r = \sqrt{\frac{\text{inertia}}{\text{gravity}}} = \sqrt{\frac{\rho v^2 L^2}{\rho L^3 g}} = \sqrt{\frac{v^2}{L g}}$$

ويعكس رقم فرود تأثير قوى الجاذبية على حالة السريان $F_r = \frac{v}{\sqrt{gL}}$

حيث:

L = الطول المعبر عن مقطع السريان وهو يساوى العمق الهيدروليكى D فى حالة السريان فى القنوات المكشوفة. بينما يساوى قطر الماسورة فى السريان داخل الأنابيب.

ويقسم السريان فى القنوات المكشوفة حسب حالته إلى سريان هادى (سريان تحت حرج) Subcritical flow وسريان هادر (سريان فوق حرج) Super critical flow وترتبط حالة السريان برقم يسمى رقم فرود Froude number F_r فإذا كان رقم فرود أقل من الواحد كان السريان هادئ أو تحت حرج وإذا كان رقم فرود أكبر من الواحد كان السريان هادراً أما فى حالة السريان الحرج فإن رقم فرود يساوى الوحدة.

ويعكس F_r تأثير قوى الجاذبية على حالة السريان $F_r = \dfrac{V}{\sqrt{gD}}$

حيث

D = عمق المياه الهيدروليكى $D = \dfrac{A}{T}$

V = السرعة المتوسطة للقطاع المائى

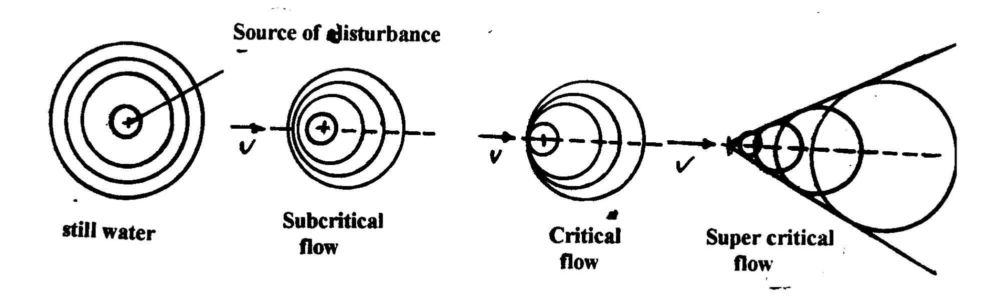
g = عجلة الجاذبية الأرضية

$$F_r = 1 \quad critical \quad \frac{v^2}{2g} = \frac{D}{2}$$

$$F_r < 1 \quad subcritical$$

$$F_r > 1 \quad supercritical$$

إذا سقط حجر فى مجرى مائى فإن شـكل موجـات الميـاه المتكونـة نتيجـة قذف الحجر تعبر عن حالة السريان كما يلى:



عند تغير السريان من فوق الحرج إلى السريان تحت الحرج تنتج ظـاهرة تسمى بالقفزة الهيدروليكية Hydraulic Jump والعكس تسمى بإنخفاض هيدروليكى Hydraulic drop.

أكفأ مقطع هيدروليكى Efficient section

المقطع الإقتصادى

بدراسة معادلة مـانينج نجـد أنـه لمسـاحة معينـة وكذلـك لميـل معيـن فـإن التصرف خلال القناة عنـد خشـونة معينـة يبلـغ أقصـاه عندمـا يبلـغ نصـف القطـر الهيدروليكى قيمته القصوى ويبلغها عندمـا يبلـغ المحيـط المبتـل قيمتـه الصغـرى. وعندما يقل المحيط المبتل تقل تكاليف التبطين وبالتالى يصبح المقطع هو الأفضل هيدروليكياً وكذلك الأكثر إقتصادية.

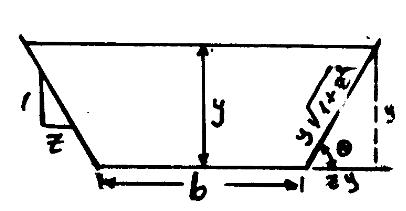
مثال:

أوجد نسب الأبعاد المقطع شبه منحرف فى المجرى المبين بالشكل والتى تجعل التصرف أقصى ما يمكن لمساحة مقطع سريان محددة وميل جوانب محدد. ثم اثبت أيضاً إنه فى حالة تغيير ميل الجوانب فإن المقطع الأكثر كفاءة هو نصف المسدس half hexagon.

الحل:

بكتابة معادلة مانينج $Q=\frac{1}{n}AR^{2/3}S^{1/2}$

فأنه نجد أنه لقيمة معينة من مساحة المقطع A وخشونة n وميل s فإن أقصى تصرف يحدث عند أقصى $R=\frac{A}{P}$ وبالتالى أقل قيمة للمحيط المبتل P



$$A=(b+zy)y \qquad (1)$$

$$b=\frac{A}{Y}-zy \qquad (2)$$ وبالتالى يمكن كتابة

$$P=b+zy\sqrt{1+z^2}$$

$$P=\frac{A}{y}+(2\sqrt{1+z^2}-z)y \qquad (3)$$

وبالتعويض عن قيمة b

فإذا كان Z, A ثابتة فإن P ستكون أقل ما يمكن

إذا كان $\frac{dp}{dy}=0$ ولذلك تفاضل المعادلة بالنسبة لـ y

$$\frac{dp}{dy} = -\frac{A}{y^2} + 2\sqrt{1+z^2} - z = 0$$

$$A = y^2 (2\sqrt{1+z^2} - z) \qquad (4)$$

وبالتعويض عن قيمة A من المعادلة (١)

$$by + zy^2 = y^2 (2\sqrt{1+z^2} - z)$$

(ونلاحظ هنا فى حالة المستطيل z = 0) وللحصول على أقصى تصرف

$b = 2y(\sqrt{1+z^2} - z)$ للحصول على أقصى تصرف (5)

وفى حالة المستطيل نعوض z = 0 فيكون أقصى تصرف عند b = zy أما الآن فنوجد ميل الجوانب للقطاع والتى لها أقصى كفاءة ممكنة وقيمة b التى حصلنا عليها سابقاً تعطى الكفاءة المثلى.

وذلك بمفاضلة المعادلة (٣) بالنسبة لـ z وتثبيت y وتساوى بالصفر

$$\frac{dP}{dz} = -y + 2y\frac{2z}{2\sqrt{1+z^2}} = 0$$

$$\therefore \frac{2z}{\sqrt{1+z^2}} = 1$$

$$4z^2 = z^2 + 1$$

$$\therefore z = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

وإذا كانت θ هى زاوية ميل الجوانب على الأفقى فإن

$$\tan\theta = \frac{1}{z} = \sqrt{3}$$

وبالتالى

$$\theta = 60^\circ$$

وبذلك يكون المقطع ذو الأقصى كفاءة ممكنة هو نصف مسدس.

وبالتعويض عن قيمة z فى المعادلة رقم (5)

$$b = 2y\left(\sqrt{1+\frac{1}{3}} - \frac{1}{\sqrt{3}}\right)$$

$$b = \frac{2y}{\sqrt{3}}$$

وبالتعويض عن قيمة z فى المعادلة رقم (4)

$$A = y^2\left(2\sqrt{1+\frac{1}{3}} - \frac{1}{\sqrt{3}}\right) = \sqrt{3}\ y^2$$

$$A = \sqrt{3}\ y^2$$

باستخدام المعادلة (5) يمكن استنتاج معادلة عامة مفيدة وهى $R = \frac{y}{z}$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{by + zy^2}{b + 2y\sqrt{1+z^2}}$$

وبتعويض قيمة b من المعادلة (5)

$$R = \frac{2y^2(\sqrt{1+z^2} - z) + zy^2}{2y(\sqrt{1+z^2} - z) + 2y\sqrt{1+z^2}}$$

$$= \frac{y(2y\sqrt{1+z^2} - zy)}{2(2y\sqrt{1+z^2} - zy)} = \frac{y}{2}$$

$$\therefore R = \frac{y}{2}$$

مثال١ :

مجرى مقطعه على شكل شبه منحرف كما فى الشكل فاحسب التصرف المار فى القناة

$n = 0.025 \qquad S = \frac{1}{1800}$

الحل:

$$A=(b+zy)\,y$$
$$=(4+1.5(1.2))\,1.2$$
$$=6.96\,m^2$$
$$P=b+2y\sqrt{1+z^2}$$
$$=4+2\times1.2\sqrt{1+(1.5)^2}$$
$$=8.33m$$
$$R=\frac{A}{P}=\frac{6.96}{8.33}=0.836\ m$$
$$Q=\frac{1}{n}AR^{2/3}S^{1/2}$$
$$=\frac{1}{0.025}(6.96)\,(0.836)^{2/3}\left(\frac{1}{1800}\right)^{1/2}$$
$$=5.82\ m^3/s$$

y = 1.2 m
1
$1\frac{1}{2}$
b = 4m

مثال ٢:

ما هو الشرط اللازم توافره حتى يكون القطاع المستطيل الشكل هو الأفضل هيدروليكياً.

الحل:

المطلوب: إيجاد الشرط الذى يجعل طول المحيط المبتل أقل ما يمكن

$$P=b+2y$$

وحيث أن $A=b\times y=constant$

$$\therefore P=\frac{A}{y}+2y$$

نفاضل المعادلة بالنسبة للمتغير (y) ثم نساوى الناتج بالصفر أى أن

$$\frac{dp}{dy}=-\frac{A}{y^2}+2=0$$

$$A=2y^2$$

$$A=by=2y^2$$

وينتج أنه لكى يكون القطاع المستطيل الشكل ذو المساحة المعلومة A هو الأفضل هيدروليكياً بيم كل القطاعات المستطيلة والتى لها نفس المساحة يجب أن تكون النسبة بين y, b والمستنتجة من المعادلة كالآتى:

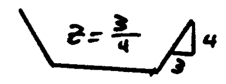
$$b=2y$$

بالإضافة إلى $R=\frac{y}{2}$

أى يكون القطاع على شكل نصف مربع

مثال٣:

مجرى مقطعه شبه منحرف ميل جوانبه ٣ افقى إلى ٤ رأسى وميل قاعه ١ فى ٢٠٠٠ احسب الأبعاد المثلى للمجرى إذا كان المطلوب نقل تصرف ٠,٥ م٣/ث. استخدم معادلة شيزى $C=80\ m^{1/2}/s$



الحل:

$$R=\frac{y}{2}=\frac{A}{P}=\frac{by+zy^2}{b+2y\sqrt{1+z^2}}=\frac{by+\frac{3}{4}y^2}{b+2y\sqrt{1+\left(\frac{3}{4}\right)^2}}$$

$$\frac{y}{2}=\frac{by+\frac{3}{4}y^2}{b+\frac{5}{2}y} \qquad \therefore 2by+\frac{3}{2}y^2=by+\frac{5}{2}y^2$$

$$b=\frac{5}{2}y-\frac{3}{2}y=y \qquad \therefore b=y$$

$$A=by+\frac{3}{4}y^2$$

$$=y^2+\frac{3}{4}y^2=\frac{7}{4}y^2 \leftarrow$$

$$P=b+2y\sqrt{1+\left(\frac{3}{4}\right)^2}=y+\frac{5}{2}y=\frac{7}{2}y \leftarrow$$

$$Q=AC\sqrt{RS}$$

$$0.5=\left(\frac{7}{4}y^2\right)(80)\sqrt{\left(\frac{y}{2}\right)\left(\frac{1}{2000}\right)}$$

$$y=0.552m \qquad b=0.552m$$

مثال:

حدد أكفأ مقطع هيدروليكي لمجرى مقطعه على شكل شبه منحرف (n = 0.025) لنقل تصرف ٤٥٠ قدم^3/ث. إذا علمت أن أقصى سرعة للسريان بحيث لاتحدث نحر هي ٣ قدم/ث وميل الجوانب ١ رأس إلى ٢ أفقي. احسب أيضاً ميل القاع المطلوب.

الحل:

$$R=\frac{y}{2}=\frac{A}{P}=\frac{by+zy^2}{b+2y\sqrt{1+z^2}}=\frac{by+2y^2}{b+2y\sqrt{5}} \rightarrow b=2y\sqrt{5}-4y$$

$$A=\frac{Q}{V}=\frac{450}{3}=by+2y^2 \rightarrow b=(150-2y^2)/y$$

بمساواة المعادلتين السابقتين نحصل على $Y = 7.79\ ft \qquad b = 3.67$

وبالتعويض فى معادلة مانينج

$$V = \frac{1.486}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

$$3 = \frac{1.486}{0.025}\left(\frac{7.79}{2}\right)^{2/3} S^{1/2} \rightarrow S = 0.000418$$

مثال:

ترعة، صمم مقطعها على شكل شبه منحرف حيث عرض القاع (b = 6m) ميل الجوانب ١ رأس : ٢ أفقى ـ الميل الطولى لقاع الترعة (S₀ = 10 cm/km) الترعة مبطنة بالخرسانة (n = 0.014) وذلك حتى يمر التصرف التصميمى كجريان منتظم بعمق مقداره (y = 1.5m). احسب قيمة ذلك التصرف التصميمى. إذا طلب منك تعديل التصميم حتى يمر ذلك التصرف فى الترعة بحيث تكون تكاليف التبطين أقل ما يمكن. فما هى الأبعاد التى تقترحها للترعة. احسب كذلك التوفير فى تكاليف التبطين.

الحل:

أولاً:

$$A = (6 + 2 \times 1.5)\ 1.5$$
$$= 13.5\ m^2$$
$$P = 6 + 2 \times 3.354 = 12.708\ m$$
$$R = \frac{A}{P} = 1.0623\ m$$
$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} S^{1/2}$$
$$= \frac{1}{0.014}(13.5)(1.0625)^{2/3}(10^{-4})^{1/2} = 10.04\ m^3/s$$

1.5 m
1
2
6 m

ثانياً: لكى يمر هذا التصرف التصميمى فـى مقطـع الترعـة بحيث تكـون تكـاليف التبطين أقل ما يمكن، يجب أن يكون المقطع هـو الأفضـل هيدروليكيـاً كمـا فى الشكل

حيث $A=\sqrt{3}\, y^2 \qquad R=\frac{y}{2}$

وبالتطبيق فى معادلة مانينج

$$Q=\frac{1}{n} A R^{2/3} S_0^{\frac{1}{2}}$$

$$10.04=\frac{1}{0.014}(\sqrt{3}\, y^2)(0.5\, y)^{2/3}(0.0001)^{1/2}$$

$$y^{8/3}=12.8825 \qquad \therefore y=2.608\, m$$

$$A \; =by+\frac{1}{\sqrt{3}} y^2 \; =\sqrt{3}\, y^2$$

$$\therefore\, b=\frac{2}{\sqrt{3}}\, y \;=\frac{2}{\sqrt{3}}\, 2.608=3.011m$$

ثالثاً: لحساب نسبة التوفير فى تكاليف التبطين نقارن بين طول المحيط المبتل فـى الحالة الأولى (P_1) وفى الحالة الثانية (P_2) حيث:

$$P=b+2y\sqrt{1+\frac{1}{3}}=b+\frac{2y}{\sqrt{3}}\, 2=9.034m$$

وتكون نسبة التوفير فى تكاليف التبطين مقدارها

$$=\frac{P_1-P_2}{P_1}\times 1000=\frac{12.708-9.034}{12.708}\times 1000=28.9\%$$

الطاقة النوعية

Specific Energy

تعرف الطاقة النوعية *(E)* لمقطع سـريان مـا بأنهـا الطاقـة لوحـدة الـوزن لهذا المقطع على أساس أن مستوى المقارنة *(Datum)* يمر بأسفل نقطة فـى القـاع لهذا المقطع *(z = 0)* وعلى ذلك تكون الطاقة النوعيـة عنـد أى نقطـة علـى امتـداد المجرى هى مجموع عمق السريان *(y)* وضـاغط السرعة $\left(\frac{V^2}{2g}\right)$:

$$E = y + \frac{V^2}{2g}$$

حيث: E هى الطاقة النوعية بالمتر

وسوف تستخدم هنا فكرة التصرف لوحدة العرض من المجرى للمسـاعدة فىتوضيح علاقات الطاقة النوعيـة. وسـوف نسـتخدم مجـرى مقطعـه علـى شـكل مستطيل عرضـه *(b)* وتصرفه *(Q)* ولذلك فإن التصرف لوحدة العرض هو

$$q = \frac{Q}{b}$$

حيث: q = التصرف لوحدة العرض متر٢/ث

ولذلك يمكن التعبير عن سرعة السريان كما يلى:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{q \cdot b}{y \cdot b} = \frac{q}{y}$$

وبذلك يمكن التعبير عن الطاقة النوعية كما يلى

$$E = y + \frac{q^2}{2g\,y^2}$$

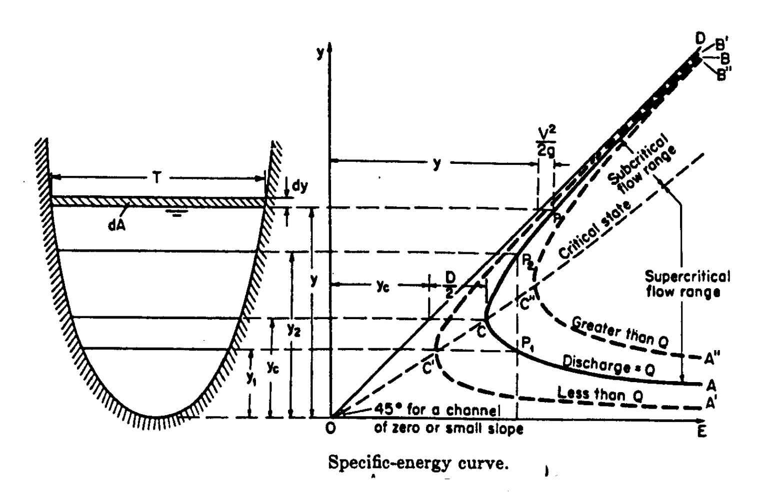
وبترتيب المعادلة على الصورة

$$(E-y)\;y^2 = \frac{q^2}{2g}$$

حيث أن الطرف الأيمن مقدار ثابت فى السريان المستقر Steady-state.
بتوقيع المعادلة السابقة علىالرسم شكل (٥-٤) وذلك لقيمة محددة للتصرف q فإنها تقترب من الخط الذى يميل ٤٥° على الأفقى عند $(E - y) = 0$ أى $E = y$ وكذلك تقترب أيضاً من المحور الأفقى عند $y = 0$. فكما يتضح من الشكل أن المنحنى له فرعان، أحدهما يتقارب من المحور الأفقى فى إتجاه اليمين (عند $E = \infty$) والفرع الآخر يتقارب مع الخط الذى يمر بنقطة الأصل ويميل مع الأفقى بزاوية ٤٥° فى إتجاه اليمين إلى أعلى (عند $y = \infty$) ويوضح الشكل كذلك تأثيره زيادة أو نقصان التصرف على وضع النحنى.

والمنحنى يبين أنه لقيمة محددة للطاقة النوعية من الممكن أن يمر التصرف أما بعمق صغير $(y_1 = y_{sup})$ أو بعمق كبير $(y_2 = y_{sub})$. كل من هذين العمقين يقال أنه عمق متبادل *alternate depth* للعمق الآخر.

عند نقطة C تكون قيمة الطاقة النوعية أقل ما يمكن (E_{min}). وتكون قيمة العمقين المتبادلين متساوية $(y_1 = y_2)$. ويمكن إيجاد الشروط الذى توجد عنده E_{min} وذلك من المعادلة الخاصة بالطاقة النوعية حيث تكون



Specific-energy curve.

شكل (٥-٤): منحنى الطاقة النوعية

$$E_{min} \ at \ \frac{dE}{dy} = 0$$

$$E = y + \frac{Q^2}{2gA^2}$$ حيث $V = \frac{Q}{A}$

$$\frac{dE}{dy} = 1 - \frac{Q^2}{gA^3}\left(\frac{dA}{dy}\right)$$

$$= 1 - \frac{V^2}{gA}\left(\frac{dA}{dy}\right)$$

$$dA = T.\ dy \qquad \therefore \ \frac{dA}{dy} = T$$

$$\frac{dE}{dy} = 1 - \frac{V^2 T}{gA}$$

أقل قيمة للطاقة النوعية تحدث عند مساواة التفاضل بالصفر

$$\frac{dE}{dy} = 1 - \frac{V^2T}{gA} = 0$$

أى عندما تكون

$$\frac{V^2.T}{gA} = \frac{V^2}{gD} = F_r^2 = 1$$

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gD}} = 1$$

أو عندما تكون

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{A^3}{T}$$

حيث:

F_r = رقم فرود *Froude number*

D = العمق الهيدروليكى المتوسط *Hydraulic depth*

فى حالة المقطع المستطيل يكون $D = y$

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gy}} = 1$$

ففى حالة السريان الحرج $y_1 = y_2 = y_3$

حيث:

y_c = عمق السريان الحرج ويسمى بالعمق الحرج *Critical depth*

سرعة السريان التى يمر بها تصرف محدد فى مقطع معين بعمق يساوى العمق الحرج (y_c) تسمى بالسرعة الحرجة *Critical Velocity* ويرمز لها بالرمز V_c.

وفى حالة المقطع المستطيل

$$\frac{dE}{dy} = 1 - \frac{q^2}{gy^3} = 0$$

ومنها تحصل على العمق الحرج

$$y_c = \left(\frac{q^2}{g}\right)^{\frac{1}{3}}$$

وحيث أن $V = \dfrac{q}{y}$

فإن السرعة الحرجة يمكن الحصول عليها كالآتى:

$$V_c = \sqrt{g\,y_c}$$

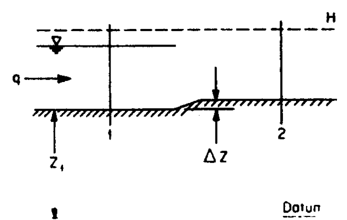
$$\frac{V_c^2}{2g} = \frac{y_c}{2}$$

$$E_{min} = y_c + \frac{V_c^2}{2g} = \frac{3}{2}\,y_c$$

$$y_c = \frac{2}{3}\,E_{min}$$

عوائق السريان Flow Constriction

سوف نأخذ مثالاً على عوائق السريان فى حالة السريان فى مجرى مقطعه مستطيل والعائق هو إرتفاع فى قاع المجرى *(Step)* وسوف نفترض أن الطاقة الكلية للسريان *(H)* ثابتة قبل وبعد العائق بمعنى إهمال الفاقد فى الإحتكاك عبر العائق. وأيضاً نفترض أن السريان تحت حرج بكتابة معادلة برنولى للسريان عبر القطاعين ٢،١.



$$z_1 + y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = (z_1 + \Delta z) + y_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

وبالتعويض عن وحدة التصرف $V = \frac{q}{y}$ نحصل على

$$z_1 + y_1 + \frac{q^2}{2g\,y_1^2} = (z_1 + \Delta z) + y_2 + \frac{q^2}{2g\,y_2^2}$$

والتى يمكن إختصارها إلى

$$H = z_1 + E_1 = (z_1 + \Delta z) + E_2$$
$$E_2 = E_1 - \Delta z$$

وحيث أننا نعمل على الذراع العلوى لمنحنى الطاقة النوعية حيث أن الفرض أن السريان تحت حرج فإن $y_2 < y_1$

وبهذا يتضح أن عمق السريان يقل أو يتناقص بعد المرور على الإرتفاع أو العائق ولحساب العمق الجديد y_2 يجب حل المعادلة من الدرجة الثالثة *cubic equation* كما يتضح من المثال التالى.

مثال:

مياه تسرى بسرعة ١,١ متر/ث بعمق ١,٨ متر فى مجرى مقطعه على شكل مستطيل على فرض أن قاع المجرى أفقى. ويعترض المجرى إرتفاع أملس *smooth step* ٠,١٥ متر فى القاع. احسب العمق بعد العائق على إهمال الفاقد فى الاحتكاك.

الحل:

$$H = Z_1+E_1=(Z_1 + \Delta Z) + E_2$$

$$E_2 = E_1 - 0.15$$

$$E_1 = y_1 + \frac{V_1^2}{2g}$$

$$E_1 = 1.8 + \frac{(1.1)^2}{2 \times 9.81}$$

$$E_1 = 1.86 \ m$$

$$E_2 = 1.86 - 0.15 = 1.71 m$$

$$E_2 = y_2 + \frac{q^2}{2g \ y_2^2} \qquad \because q = v.y$$

$$E_2 = y_2 + \frac{(1.1 \times 1.8)^2}{2(9.81) \ y_2^2}$$

$$E_2 = y_2 + \frac{0.2}{y_2^2} = 1.71 \ m$$

$$y_2^3 - 1.71 y_2^2 + 0.2 = 0$$

وهذه معادلة من الدرجة الثالثة يمكـن حلها بطريقـة المحاولـة والخطـأ أو بطريقة نيوتن لحل المعادلات الغير خطيـة *Newton's method for non linear equations*

أولاً نضع المعادلة على صورة دالة فى y ثم ناخذ تفاضلها كالآتى:

$$F(y)=0=y_2^3 - 1.71 y_2^2 + 0.2$$

$$F'(y) = 3 y_2^2 - 3.42 y_2$$

وللحـل بطريقـة نيوتـن نفـترض قيمـة ابتدائيـة للعمـق y_n وهـى قيمـة سـابقة أيضـاً فىعملية التكرار للحل والقيمة الحالية *Current iteration* هى y_{n+1} كالآتى:

$$y_{n+1} = y_n - \frac{f(y_n)}{f'(y_n)}$$

وبالتعويض عن القيم السابقة

$$y_{n+1} = y_n - \frac{y_n^3 - 1.71\, y_n^2 + 0.2}{3\, y_n^2 - 3.42\, y_n}$$

نفترض قيمة إبتدائية *initial estimate* ١,٥ متر للعمق y_n

ونعوض فى المعادلة السابقة ثم نكرر العملية إلى أن يتساوى فيها قيمتين متتاليتين أو تثبت القيمة أوبمعنى آخر تقترب قيميتن من بعضهما بالقدر الكافى لتحقيق الدقة المطلوبة للحل كما يلى:

y_n	y_{n+1}
1.500	1.668
1.668	1.637
1.637	1.635
1.635	1.635

أى أن الرقم لم يتغير لثالث رقم عشرى ولهذا

$y_2 = 1.635m$

ومن هذا يتضح أن عمق السريان تناقص بعد المرور على العائق.

مثال:

تسرى مياه بسرعة ٣متر/ث وعمق سريان ٣متر فى مجرى أملس مقطعه على شكل مستطيل. احسب أقصى إرتفاع لعائق يمكن أن يحفظ حالة السريان السابقة ثابتة من حيث التصرف مع فرض إهمال الفاقد فى الاحتكاك.

الحل:

$$E_1 = y_1 + \frac{v_1^2}{2g}$$

$$E_1 = 3 + \frac{(3)^2}{2 \times 9.81} = 3.459\,m$$

وأقصى إرتفاع للعائق يساوى الفرق بين الطاقة النوعية قبل العـائق وأقـل طاقة نوعية والتى تحدث عند العمق الحرج للسريان إذن نحسب العمق الحرج.

$$y_c = \left[\frac{q^2}{g}\right]^{1/3} \qquad q = v \times y$$

$$y_c = \left[\frac{((3\,m/s)(3.0))^2}{9.81\,m/s^2}\right]^{1/3}$$

$$y_c = 2.021\,m$$

$$\because y_c = \frac{2}{3} E_{min}$$

أى أن

$$E_{min} = \frac{3}{2} y_c$$

$$\therefore E_{min} = \frac{3}{2}(2.02\,m) = 3.032m$$

ولهذا يكون أقصى إرتفاع للعائق

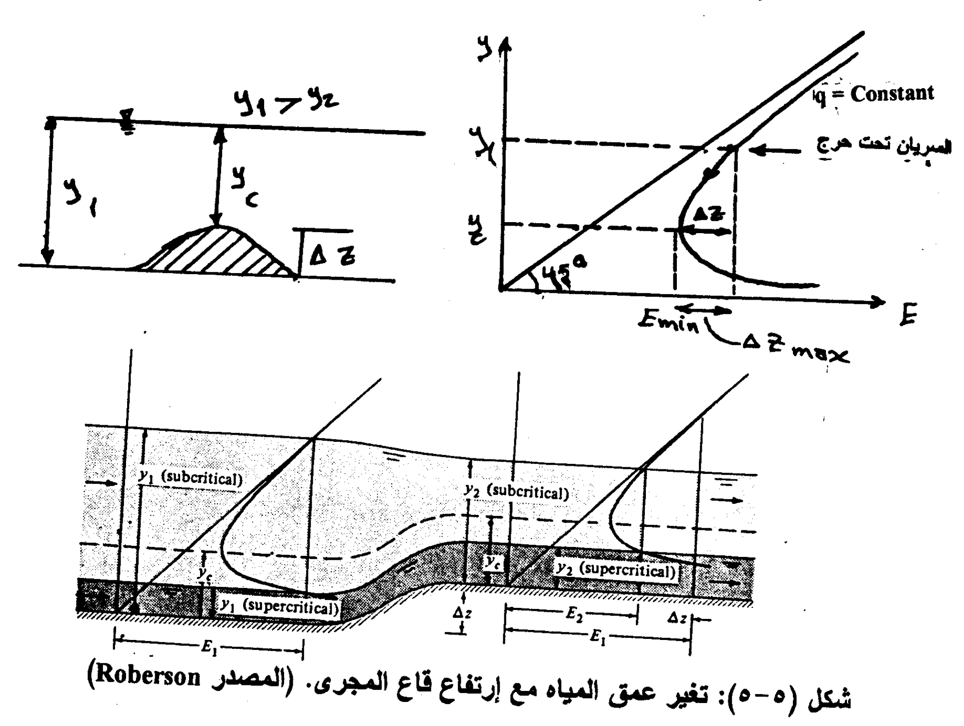
$$\Delta z_{max} = E_1 - E_{min}$$
$$= 3.459m - 3.032m$$
$$= 0.427m$$

فإذا زاد إرتفاع العائق عن ذلك فإنه يعترض التصرف ولايمكن المحافظة على هذا التصرف.

ولذلك فإن زيادة الإرتفاع للعائق سوف يجعل السريان فـى المجـرى يتبـع منحنى طاقة نوعية آخر منحرفاً جهة اليسار أى لتصرف أقل لوحدة العرض.

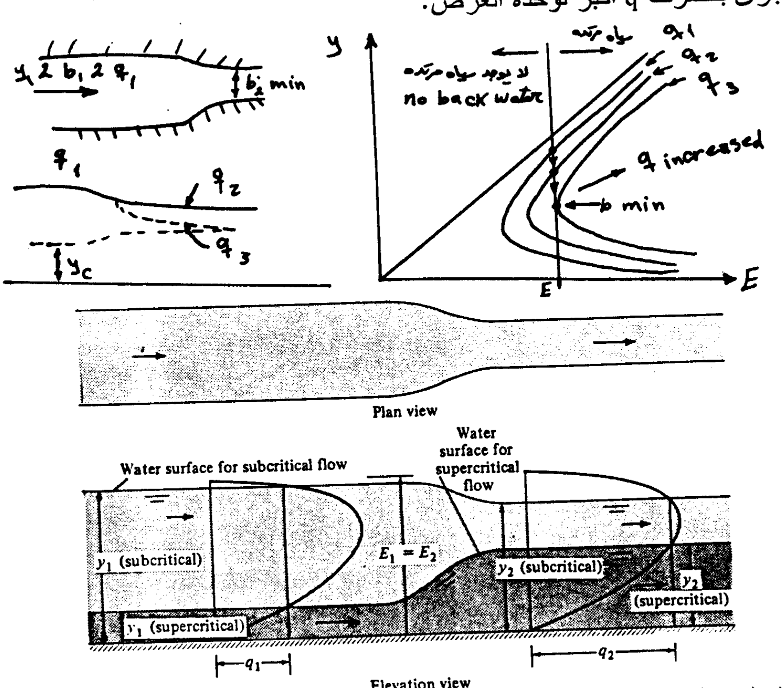
ونلاحظ أنه إذا كان السريان فوق حرج أى إننا نعمل على الفرع الأسـفل عن منحنى الطاقة النوعية فإن $y_1 < y_2$ أى إننا نتحرك على المنحنى الأعلـى كمـا هو موضح بالشكل (٥-٥).

أما إذا كان العائق هو ضيق فى عرض المجرى Change in width



شكل (٥-٥): تغير عمق المياه مع إرتفاع قاع المجرى. (المصدر Roberson)

يوضح الشكل (٥-٦) إن تضييق عرض المجرى يؤثر على عمق السريان تبعاً لحالة السريان فإذا كان السريان فوق حرج (هادر) فإن عمق السريان يتزايد بتقليل عرض المجرى أما إذا كان السريان تحت حرج (هادئ) فإن عمق السريان يتناقص. وكما هو واضح من خط ثبات الطاقة E فإنه مع تقليل عرض المجرى b تتزايد قيمة q وذلك للحفاظ على ثبات التصرف الكلى إلى أن تصل إلى قيمة أقل عرض للمجرى b_{min} الذى يماس خط ثبات الطاقة النوعية E عند الحالة الحرجة للسريان وإذا حدث ضيق فى المجرى أكثر من ذلك فإن المياه ترتد أعلى العائق ليزيد عمقها وبالتالى تزيد طاقتها E لكى يمكنها من عبور المجرى بتصرف q أكبر لوحدة العرض.



شكل (٥-٦): تغير عمق السريان مع تغير عرض المجرى (المصدر Roberson)

لاحظ أن q تتغير بتغير b مع ثبات Q حيث أن:

$$q=\frac{Q}{b}$$

مثال:

تسرى مياه فى مجرى مقطعه على شكل مستطيل عرضه ٦ متر وعمق السريان ٣متر بتصرف ٣٠م^٣/ث. أحسب رقم فرود وحدد نوع السريان وكذلك العمق المتبادل *alternate depth*. واحسب أيضاً العمق الحرج لهذا التصرف.

الحل:

$$V=\frac{Q}{A}=\frac{30\,m^{3/s}}{(3m)(6m)}=1.67\ m/s$$

$$F_r=\frac{V}{\sqrt{gy}}=\frac{1.67}{\sqrt{9.81\times 3}}=0.31<1 \qquad \textbf{subcritical}$$ سريان تحت حرج

$$E=y+\frac{v^2}{2g}$$

$$=3+\frac{1.67^2}{2\times 9.81}=3.14\,m$$

$$E=y+\frac{q^2}{2g\,y^2}$$

وبحل المعادلة السابقة يمكن الحصول على العمق المتبادل

$$3.14=y+\frac{25}{2\times 9.81\,y^2}$$

$$3.14\,y^2=y^3+1.27421$$

$$y^3-3.14\,y^2+1.27421=0$$

$$y_{n+1}=y_n-\frac{f(y_n)}{f'(y_n)}$$

$$=y_n-\frac{y_n^3-3.14\,y_n^2+1.27421}{3y_n^2-6.28\,y_n}$$

y_n	y_{n+1}
1	0.736
0.736	0.7266

$y = 0.72\ m$

والعمق الحرج

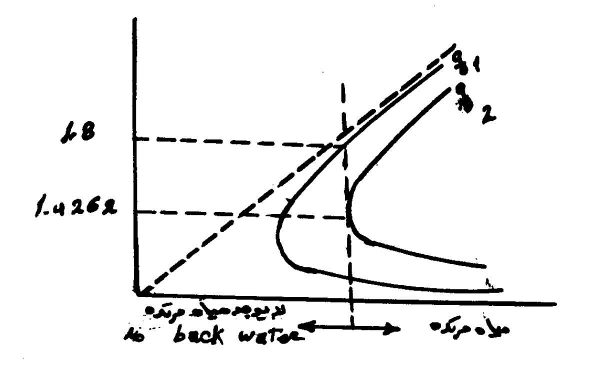
$$y_c = \left(\frac{q^2}{g}\right)^{1/3}$$

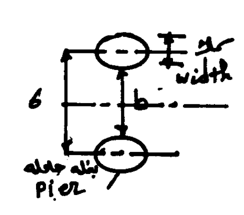
$$= \left(\frac{5^2}{9.81}\right)^{1/3} = 1.37m$$

مثال:

يمر تصرف لوحدةالعرض ٤,٦٥ م^3/ث.م فى مجرى مقطعه على شكل مستطيل وعمق المياه ١,٨متر. والمطلوب إنشاء كوبرى *bridge* عبر المجرى ويحتاج عمل بغلات حامله عل مسافات ٦متر بين مراكز البغلات. فعلى فرض أن البغلات الحاملة ملساء ويمكن إهمال الفاقد فى الاحتكاك. احسب سمك البغلات الحاملة بحيث لايوجد مياه مرتدة خلف البغلات أو بمعنى آخر المحافظة على التصرف فى المجرى.

الحل:





$q_1 = 4.65$

$y_n = 1.8m$

$$E = y + \frac{q^2}{2gy^2} = (1.8) + \frac{(4.65)^2}{2 \times 9.81 \times (1.8)^2} = 2.14m$$

$y_c = \frac{2}{3}\ E = \frac{2}{3} \times 2.14 = 1.426667m$

$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$ $\quad\quad \therefore q^2 = (1.42667)^3 \times 9.81 = 28.486$

$q = 5.337$

$q_1 \times 6 = q_2 \times b$

$b = \frac{4.65 \times 6}{5.337} = 5.2274$

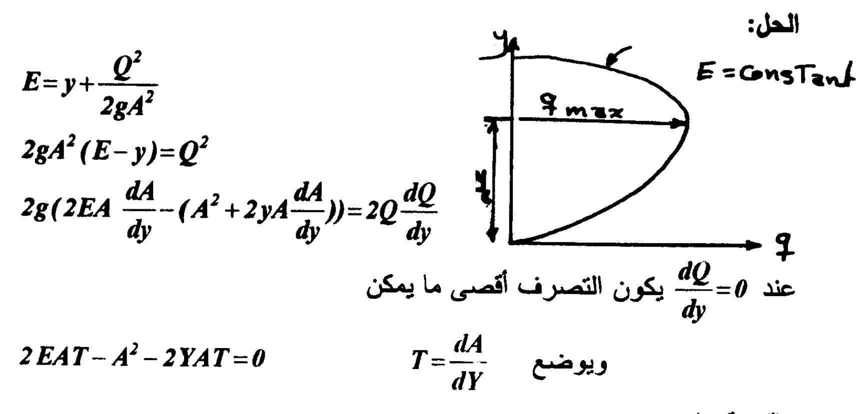
$width = 6 - 5.2274 = 0.7726m$

∴ أقصى سمك للبغلات الحاملة هو ٠,٧٧متر.

مثال:

أثبت أن عندحالة السريان الحرجة يكون التصرف أقصى ما يمكن وذلك عند طاقة نوعية محددة (ثابتة)

الحل:



$E = y + \frac{Q^2}{2gA^2}$

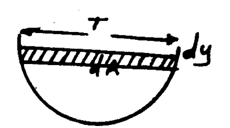
$2gA^2(E - y) = Q^2$

$2g(2EA\ \frac{dA}{dy} - (A^2 + 2yA\frac{dA}{dy})) = 2Q\frac{dQ}{dy}$

عند $\frac{dQ}{dy} = 0$ يكون التصرف أقصى ما يمكن

ويوضع $T = \frac{dA}{dY}$ $\quad\quad 2EAT - A^2 - 2YAT = 0$

بالقسمة على A.T



$$2E-\frac{A}{T}-2y=0$$

ويوضع $\frac{A}{T}=D$

$$E-Y=\frac{D}{2}$$

وبالتعويض عن قيمة $E=y+\frac{v^2}{2g}$ نحصل على

$$\frac{v^2}{2g}=\frac{D}{2}$$

وهذا شرط السريان الحرج

أى أن عند السريان الحرج يكون التصرف عند قيمته العظمى

مثال: أثبت أن عند السريان الحرج فإن الطاقة النوعية. تساوى ١,٥ عمق السريان وذلك لمجرى مقطعه مستطيل وميله الطولى يساوى صفراً.

الحل:

عند السريان الحرج وميل صفر

$$\frac{v^2}{2g}=\frac{D}{2}$$

ولمقطع مستطيل D = Y

$$\frac{v^2}{2g}=\frac{Y}{2}$$

وتكون معادلة الطاقة النوعية فى هذه الحالة

$$E=Y+\frac{v^2}{2g}$$

عند السريان الحرج

$$E=Y_c+\frac{Y_c}{2}$$

$$E=\frac{3}{2}Y_c$$

عمق السريان المنتظم

normal depth

تصف معادلة مانينج السريان المنتظم
$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} \sqrt{S}$$

وبوضع المعادلة على الصورة
$$AR^{2/3} = \frac{Q.n}{\sqrt{S}}$$

يحتوى الجانب الأيمن من المعادلة على S, n, Q

بينما يعتمد الطرف لأيسر من المعادلة على شكل مساحة القطاع المائى فقط. ولهذا يتضح أنه لقيمة محددة من S, n, Q يوجد قيمة واحدة ممكنة فقط لعمق السريان لكى يكون السريان منتظم. وهذا العمق للمياه يسمى عمق السريان المنتظم *normal depth* Y_n.

وغالباً ما تذيل الأبعاد فى حالة السريان المنتظم بالحرف الصغير n أى Y_n , Q_n , S_n وهكذا لتدل على حالة السريان المنتظم وهى مأخوذة من *normal* ويوجد منحنيات شكل (٥-٧) لتسهيل عملية الحساب فى السريان المنتظم لمقاطع جريان مختلفة منها المستطيل والشبه منحرف والدائرة تسمى منجنيات السريان المنتظم أومنحنيات حساب عمق السريان المنتظم *Curves for determining the normal depth*.

مثال:

مجرى مقطعه على شكل شبه منحرف يحمل تصرف ٤٠٠ قدم^3/ث

$b = 20\,ft \qquad z = 2 \qquad S_0 = 0.0016 \qquad n = 0.025$

احسب عمق السريان المنتظم مستخدماً المنحنيات *Method of Design chart*

الحل:

$$A R^{2/3} = \frac{nQ}{1.486\sqrt{S}} \qquad English\,Unit$$

$$= \frac{0.025 \times 400}{1.486\ \sqrt{0.0016}} = 167.7$$

$$\frac{AR^{2/3}}{b^{8/3}} = \frac{167.7}{(20)^{8/3}} = 0.0569$$

ولهذه القيمة فى المنحنى شكل (٥-٧) عند المحور الأفقى وعند المنحنى $Z = 2$ نقرأ على المحور الرأسى النسبة $\frac{Y}{b} = 0.168$

$$\frac{Y}{20} = 0.168 \qquad \therefore Y_n = 3.36\ ft$$

مثال:

مجرى مائى مقطعه دائرى (بربخ *Culvert*) قطره ٣٦ بوصه موضوع على إنحدار $S = 0.0016$ وكان $n = 0.015$ ويحمل تصرف ٢٠ قدم³/ث احسب عمق السريان المنتظم.

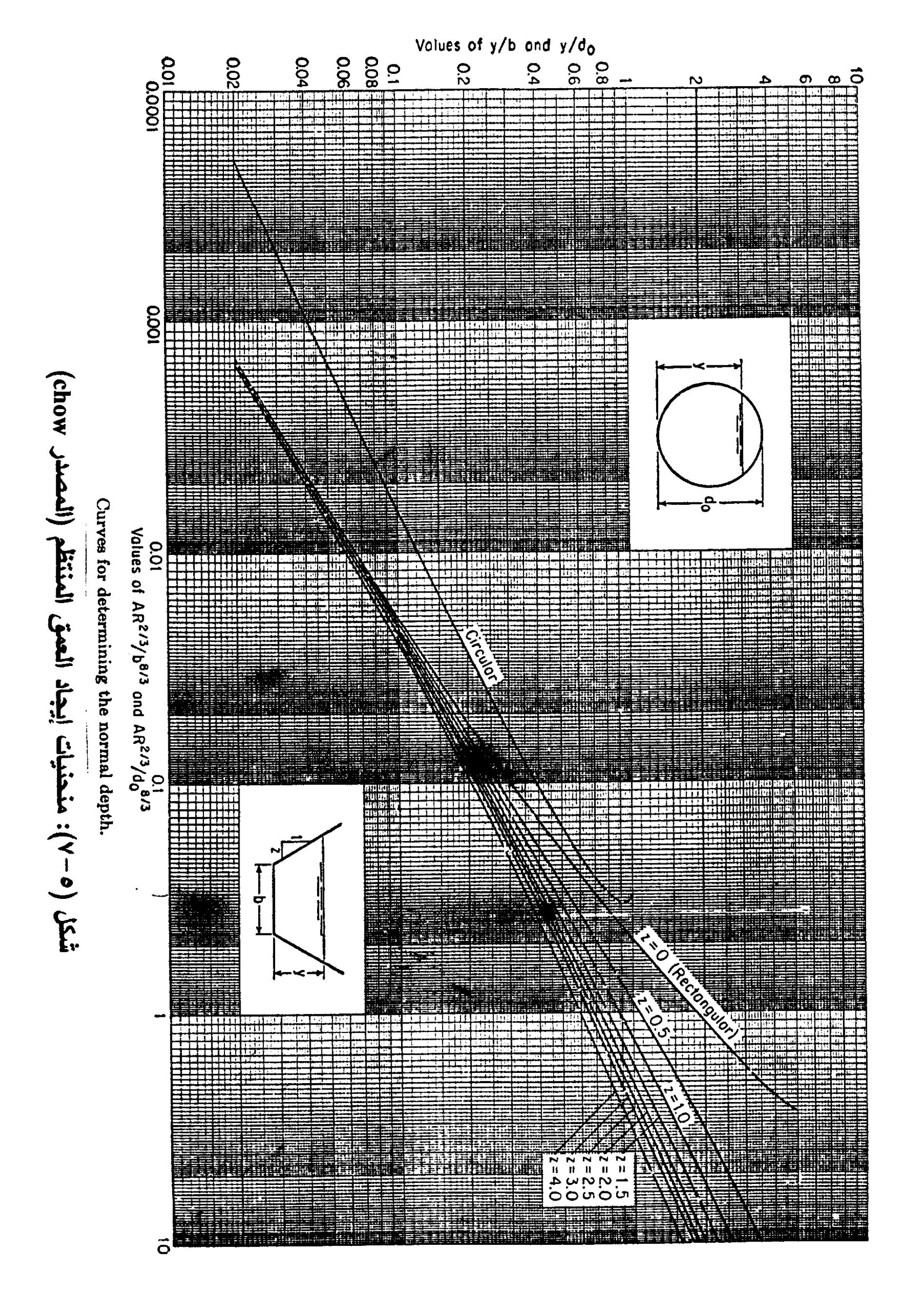
الحل:

$$\frac{nQ}{1.486\sqrt{S}} = \frac{0.015 \times 20}{1.486\sqrt{0.0016}} = 5.04$$

$$\frac{AR^{2/3}}{d_0^{8/3}} = \frac{5.04}{(3)^{8/3}} = 0.269$$

ولهذه القيمة عند المحور نقابل المنحنى شكل (٥-٧) للمقطع الدائرى Circular ونقرأ القيمة عند المحور الرأسى للنسبة $\frac{Y}{d_0} = 0.72$

$$\therefore Y = 0.72 \times 3 = 2.16\ ft$$



Curves for determining the normal depth.

شكل (٥-٧): منحنيات إيجاد العمق المنتظم (المصدر chow)

عمق السريان الحرج (العمق الحرج)

Critical depth

يتصف السريان فى الحالة الحرجة بالآتى:

١- تبلغ الطاقة النوعية قيمتها الصغرى لتصرف معين.

٢- يبلغ التصرف قيمته العظمى عند قيمة معينة للطاقة النوعية.

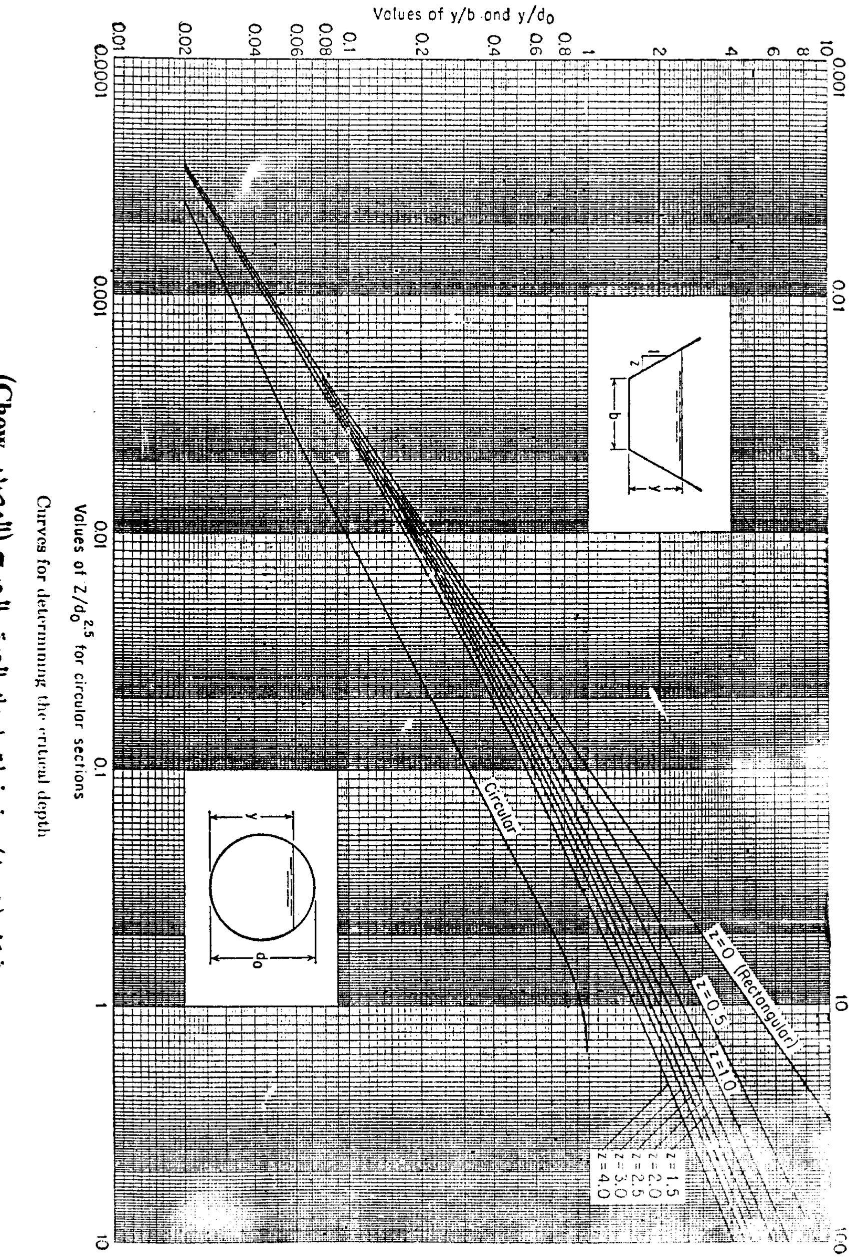
٣- تبلغ القوة النوعية قيمتها الصغرى عند تصرف معين.

٤- $\frac{V^2}{2g}=\frac{D}{2}$ عند الميول الصغيرة للمجرى $\theta = small$.

٥- $F_r = 1$.

ويسمى عمق السريان لحالة السريان الحرجة بالعمق الحرج Y_c وكذلك يسمى الميل لقاع القناة فى هذه الحالة بالميل الحرج *Critical slope* S_c ويتصف السريان إذا اقترب من الحالة الحرجة بعدم الإستقرار *unstable* ويرجع السبب فى ذلك إن أى تغير صغير فى الطاقة النوعية يتسبب فى تغير كبير لعمق السريان حيث أن منحنى الطاقة النوعية تقريباً رأسى عند السريان الحرج فأى تغير فى الطاقة النوعية يغير العمق للعمق المتبادل *alternate depth*. ولهذا عند السريان الحرج نلاحظ أن سطح المياه يكون غير مستقر ومتموج *Wavy* ويحدث ذلك عامة نتيجة تغير بسيط فى خشونة القناة أومساحة المقطع أو الميل أو أى ترسيب للطمى أو الشوائب فى المجرى. ولهذا عند التصميم إذا كان العمق للسريان عند العمق الحرج فيجب تغيير إما شكل أو ميل المجرى وذلك لتأمين الحصول على سريان مستقر.

ويوجد طريقة مبسطة لحساب العمق الحرج وهى طريقة إستخدام منحنيات شكل (٥-٨) تحديد العمق الحرج *Curves for determining the Critical depth* وتسمى أيضاً *Method of design chart*.



Curves for determining the critical depth

شكل (٥-٨): منحنيات إيجاد العمق الحرج (المصدر Chow)

فعند السريان الحرج $\frac{V^2}{2g}=\frac{D}{2}$

وبالتعويض $V=\frac{Q}{A}$

$$\frac{Q^2}{A^2\,2g}=\frac{D}{2}$$

$$\therefore \frac{Q}{\sqrt{g}}=A\sqrt{D}$$

$$Z=\frac{Q}{\sqrt{g}}$$

حيث Z هى معامل القطاع للسريان الحرج

Section factor for critical - flow

مثال:

احسب العمق الحرج لمجرى مقطعه على شكل شبه منحرف يحمل تصرف ٤٠٠ قدم³/ث $Z=2$ $b=20\,ft$

الحل:

$$Z=\frac{Q}{\sqrt{g}}=\frac{400}{\sqrt{32.2}}=70.5$$

$$\frac{Z}{b^{2.5}}=\frac{70.5}{(20)^{2.5}}=0.0394$$

وبهذه القيمة على المحور الأفقى نقابل المنحنى $Z=2$ شكل (٥-٨)

ونقرأ على المحور الرأسى النسبة $\frac{Y}{b}=0.108$

$$Y_c=0.108\times 20=2.16\ ft$$

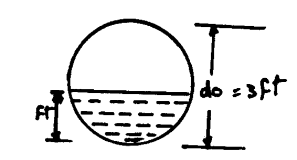
مثال:

احسب العمق الحرج لمجرى مقطعه دائرى (برنبخ *culvert*) قطره ٣٦ بوصه ويحمل التصرف ٢٠ قدم³/ث.

الحل:

$$Z = \frac{Q}{\sqrt{g}} = \frac{20}{\sqrt{32.2}} = 3.53$$

$$\frac{Z}{d_0^{2.5}} = \frac{3.53}{3^{2.5}} = \frac{3.53}{16.5} = 0.226$$



وبهذه القيمـة علـى المحـور الأفقـى الأسـفل نقـابل المنحنـى شـكل (٥-٨) للمقطع الدائرى *Circular* ونقرأ على المحور الرأسى النسبة $\frac{Y}{d_0} = 0.48$

$\therefore Y_c = 3 \times 0.48 = 1.44\ ft$

الجريان سريع التغير

Rapidly Varied Flow

القفزة الهيدروليكية Hydraulic Jump

عند إنتقال السريان من حالة فوق الحرج (هادر) *Supercritical Flow* أى $(Y < Y_c)$ إلى حالة السريان تحت الحرج (هادئ) *Subcritical Flow* $(Y > Y_c)$ فإن الأنتقال يحدث فى صورة زيادة سريعة فى أعماق الجريان خلال مسافة قصيرة نسبياً. تسمى هذه الظاهرة بالقفزة الهيدروليكية وبقياس سرعات المياه خلال القفزة وجد أن الجزء السفلى منها تكون الحركة فيه إلى الأمام فى إتجاه السريان وفى صورة سريان يتسع فى الإتجاه الرأسى ويكون سريع التغير والجزء العلوى من القفزة يكون عبارةعن كتلة من الماء المختلط بالهواء وتتحرك هذه الكتلة عكس إتجاه حركة السريان. ويمكن القول بأن فى بداية القفزة يكون السريان فوق حرج ويكون الضغط موزع هيدروستاتيكياً وفى نهاية القفزة يكون السريان تحت حرج وتوزيع الضغط أيضاً هيدروستاتيكياً. وبين بداية القفزة ونهايتها سريان سريع التغير أى منطقة دوامات سطحية. وتستخدم القفزة الهيدروليكية لعدة أغراض منها:

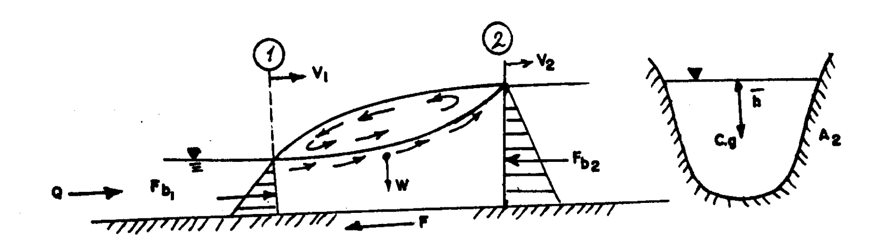
أ- تبديد طاقة السريان المار على الهدارات والسدود والمنشآت المائية.

ب- زيادة عمق المياه على الجزء الخلفى لفروشات المنشآت المائية مما ينتج عنه زيادة الوزن المقاوم لقوى الرفع المائى على الفرش من أسفل والناتجة من التسرب تحت الفرش.

جـ- زيادة عمق المياه خلف المنشآت المائية وذلك مما يسبب إستخدامها فى أغراض الرى.

د- خلط المواد الكيميائية المستخدمة فى تنقية المياه.

هـ- زيادة التصرف المار من تحت البوابات حيث تسبب زيادة الضاغط المؤثر على البوابة وذلك فى حالة تكونها بعيداً بعض الشئ عن البوابة.



قفزة هيدرويكية فى مجرى أفقى

العمق قبل القفزة Y_1 يسمى *initial depth* والعمق بعد القفزة Y_2 يسمى *Sequent depth* أى العمق المرافق ويسمى العمقان Y_1 , Y_2 بالعمقان المترافقان *Conjugate depth*. وبتطبيق معادلة كمية الحركة *Momentum eq* 2,1.

$$\sum F = \rho Q(V_2 - V_1) = m(V_2 - V_1)$$
$$F_{P1} - F_{P2} - F_F = \rho Q(V_2 - V_1)$$

مع فرض أن المجرى أفقى والمسافة بين المقطعين صغيرة ويمكن إهمال القوى المفقودة فى الاحتكاك بجدار المجرى أو قوى القص F_F أما قوى الضغط الهيدروستاتيكى على المستويين F_P.

$$F_{P1} = P_1 A$$
$$= \gamma h_1 A$$
$$= \gamma \frac{Y_1}{2} (Y_1 \times b_1)$$

إذا كان المجرى مستطيل الشكل ومنتظم
for rectangluar cross-section

$$F_{P1} = \gamma \frac{Y_1}{2} b_1$$

$$\gamma \frac{Y_1^2}{2} b_1 - \gamma \frac{Y_2^2}{2} b_2 = \rho Q (V_2 - V_1)$$

ومن معادلة الاستمرار

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2$$

$$\frac{\gamma Y_1^2 b_1}{2} - \frac{\gamma Y_2^2 b_2}{2} = \rho Q \left(\frac{Q}{A_2} - \frac{Q}{A_1} \right)$$
$$= \rho Q^2 \left(\frac{1}{A_2} - \frac{1}{A_1} \right)$$

وبالقسمة على γ

$$\frac{Y_1^2 b_1}{2} - \frac{Y_2^2 b_2}{2} = \frac{\rho Q^2}{\gamma} \left(\frac{1}{A_2} - \frac{1}{A_1} \right)$$
$$= \frac{Q^2}{g} \left(\frac{1}{A_2} - \frac{1}{A_1} \right)$$

ومع الفرض بأن مقطع المجرى مستطيل

$$Q = qb$$
$$\therefore A = b.Y$$

$$\frac{Y_1^2 b}{2} - \frac{Y_2^2 b}{2} = \frac{q^2 b^2}{g} \left(\frac{1}{bY_2} - \frac{1}{bY_1} \right)$$

وبالقسمة على b

$$\frac{Y_1^2}{2}-\frac{Y_2^2}{2} \quad : \quad \frac{q^2}{gY_2}-\frac{q_1^2}{gY_1}$$

$$\frac{q_1^2}{gY_1}-\frac{Y_1^2}{2}=\frac{q_2^2}{gY_2}-\frac{y_2^2}{2}$$

وبتعريف القوة النوعية F

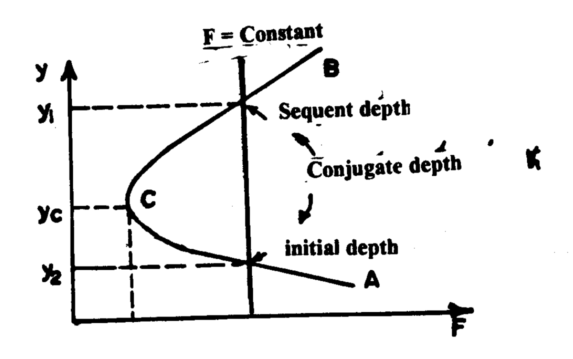
$$F = Specific Force = \frac{q^2}{gy}+\frac{y^2}{2}$$

ويسمى المقدار $\frac{q^2}{gy}+\frac{y^2}{2}$ والخاص بمقطع جريان معين بالقوة النوعية لهذا المقطع ويرمز له F

ومن هذا يتضح أنه للقفزة الهيدروليكية فإن $F_1 = F_2$

والقوة النوعية تمثل القوة لوحدة الوزن من الماء.

ولمجرى مقطعه ثابت على إمتداد طوله ويمر به تصرف معين Q يمكن رسم منحنى يوضح العلاقة بين العمق Y والقوى النوعية F ويسمى هذا المنحنى بمنحنى القوى النوعية *Specific Force diagram* والشكل يوضح منحنى القوى النوعية *(ACB)* لمقطع معين فى مجرى له Q محددة



كما يتضح من الشكل أن المنحنـى لـه فرعـان أحدهمـا *(CA)* يتقـارب مـع المحور الأفقى (محور F) فى إتجاه اليمين $(Y \rightarrow 0 \ at \ F \rightarrow \infty)$ والفـرع الآخـر *(CB)* يرتفع ويمتد لأعلى ناحية اليمين $(Y \rightarrow \infty @ F \rightarrow \infty)$.

والمنحنـى يوضـح أنـه لقيمـة محـددة للقـوى النوعيـة *(F)* يمكـن أن يمـر التصرف إما بعمق صغير (Y_1) أو بعمـق كبـير (Y_2) كـل مـن هذيـن العمقيـن هـو العمق المرافق للآخر *Conjugate depth*.

عند نقطة C على المنحنى تكون قيمة القوى النوعية أقل ما يمكـن (F_{min}) وتكون قيمة العمقين المترافقين متساوية وتساوى العمق الحرج $Y_1 = Y_2 = Y_c$ ويمكن إثبات ذلك كما يلى:

$$F_{min} @ \frac{dF}{dY} = 0$$

$$F = \frac{q^2}{gY} + \frac{Y^2}{2}$$

$$\frac{dF}{dY} = \frac{-q^2}{gY^2} + Y = 0$$

$$\frac{q^2}{gY^2} = Y \qquad \therefore \frac{q^2}{g} = Y^3$$

وهذا هو العمق الحرج فى حالة المقطع المستطيل كما سبق برهانـه فـى الطاقـة النوعية

$$\therefore Y = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

وبذلك تكون F_{min}

$$\therefore F = \frac{Y^3 g}{gY} + \frac{Y^2}{2} = \frac{3}{2} Y^2$$

ولإيجاد العمق المرافق يتبع الآتى:

فى حالة القفزة الهيدروليكية $F_1 = F_2$

$$\frac{q^2}{gY_1} + \frac{Y_1^2}{2} = \frac{q^2}{gY^2} + \frac{Y_2^2}{2}$$

$$\frac{q^2}{g}\left(\frac{1}{Y_1} - \frac{1}{Y_2}\right) = \frac{1}{2}(Y_2^2 - Y_1^2)$$

$$\frac{q^2}{g}\left(\frac{Y_2 - Y_1}{Y_2 - Y_1}\right) = \frac{1}{2}(Y_2 - Y_1)(Y_2 + Y_1)$$

$$\frac{q^2}{gY_2 \ Y_1} = \frac{1}{2}(Y_2 + Y_1)$$

$$q = Y_1 V_1$$

$$\frac{V_1^2 Y_1^2}{gY_1 Y_2} = \frac{1}{2}(Y_2 + Y_1)$$

$$\frac{V_1^2}{g} = \frac{1}{2}\frac{Y_2}{Y_1}(Y_2 + Y_1)$$

$$\frac{V_1^2}{gY_1} = F_{r1}^2 = \frac{1}{2}\frac{Y_2}{Y_1}\left(\frac{Y_2}{Y_1} + 1\right)$$

ويمكن وضع المعادلة السابقة على صورة معادلة من الدرجة الثانية

$$\left(\frac{Y_2}{Y_1}\right)^2 + \left(\frac{Y_2}{Y_1}\right) - 2F_{r1}^2 = 0$$

$$\frac{Y_2}{Y_1} = \frac{1}{2}\left(\sqrt{1 + 8F_{r1}^2} - 1\right)$$

ومن الممكن كتابة المعادلة السابقة على الصورة الآتية إذا كان المعلوم الحالة عند المقطع ٢

$$\frac{Y_1}{Y_2} = \frac{1}{2}\left(\sqrt{1 + 8F_{r2}^2} - 1\right)$$

والآن سنحاول إيجاد الفقد فى الطاقة نتيجة القفزة الهيدروليكية حيث أننا ذكرنا إنها تستخدم لتبديد طاقة السريان

$$\Delta E = E_1 - E_2$$
$$= \frac{q^2}{2gY_1^2} + Y_1 - \left(\frac{q^2}{2gY_2^2} + Y_2\right)$$
$$= \frac{q^2}{2g}\left(\frac{1}{Y_1^2} - \frac{1}{Y_2^2}\right) + Y_1 - Y_2 \rightarrow (1)$$

فى القفزة الهيدروليكية $F_1 = F_2$

$$\therefore \frac{q^2}{gY} + \frac{Y_1^2}{2} = \frac{q^2}{gY_2} + \frac{Y_2^2}{2}$$
$$\frac{q^2}{g}\left(\frac{1}{Y_1} - \frac{1}{Y_2}\right) = \frac{Y_2^2}{2} - \frac{Y_1^2}{2}$$
$$\frac{q^2}{g} = \left(\frac{Y_2^2}{2} - \frac{Y_1^2}{2}\right) / \left(\frac{1}{Y_1} - \frac{1}{Y_2}\right) \rightarrow (2)$$

بالتعويض معادلة *(2)* فى معادلة *(1)* ينتج

$$\Delta E = \frac{1}{2}\left(\frac{Y_1^2}{2} - \frac{Y_1^2}{2}\right)\left(\frac{1}{Y_1} + \frac{1}{Y_2}\right) + Y_1 - Y_2$$
$$= \frac{Y_2^2}{4Y_1} - \frac{Y_1}{4} + \frac{Y_2}{4} - \frac{Y_1^2}{4Y_2} + Y_1 - Y_2$$
$$= \frac{Y_2^3 - Y_1^2Y_2 + Y_1Y_2^2 - Y_1^3 + 4Y_1^2Y_2 - 4Y_1Y_2^2}{4Y_1Y_2}$$
$$= \frac{Y_2^3 - Y_1^3\ 3Y_1^2Y_2 - 3Y_1Y_2^2}{4Y_1Y_2}$$

الفاقد فى الطاقة نتيجة حدوث القفزة الهيدروليكية $\Delta E = \frac{(Y_2 - Y_1)^3}{4Y_1Y_2}$

$$h_l = \Delta E$$

مثال:

تسرى مياه بعمق ٣٠سم وبسرعة ١٦ متر/ث فى مجرى مائى مستطيل المقطع فإذا تكونت قفزة هيدروليكية فما هو عمق السريان وسرعة المياه بعد حدوث القفزة الهيدروليكية واحسب كذلك الفاقد فى الطاقة نتيجة حدوث القفزة.

الحل:

$$F_{r1} = \frac{V}{\sqrt{gY_1}} = \frac{16}{\sqrt{9.81(0.3)}} = 9.33$$

$$Y_2 = \frac{Y_1}{2}\left[\sqrt{1+8F_{r1}^2} - 1\right]$$

$$= \frac{0.3}{2}\left[\sqrt{1+8(9.33)^2} - 1\right] = 3.81m \leftarrow$$

$$V_2 = \frac{q}{Y_2} = \frac{16(0.30)}{3.81} = 1.26\, m/s \leftarrow$$

$$h_L = \Delta E = \frac{(Y_2 - Y_1)^3}{4Y_1Y_2} = \frac{(3.81-0.30)^3}{4(0.3)(3.81)} = 9.46 \leftarrow$$

30cm
V= 16 m/S

ويمكن حساب الفاقد فى الطاقة بطريقة أخرى والتحقق من النتيجة السابقة كالآتى:

$$h_l = E_1 - E_2$$

$$= \left(0.30 + \frac{16^2}{2 \times 9.81}\right) - \left(3.81 + \frac{1.26^2}{2 \times 9.81}\right)$$

$$= 9.46m$$

تصميم القنوات ذات الجريان المنتظم

Channel Design for Uniform Flow

١ – القنوات الغير قابلة للنحر Nonerodible Channels

تعتبر القنوات المبطنة أو المحفورة فى طبقات صخرية قنوات غير قابلة للنحر. تعتمد طريقة تحديد أبعاد القنوات الغير قابلة للنحر (التصميم) على إستخدام معادلات السريان المنتظم مثل معادلة شيزى - مانينج باعتبار أكفأ مقطع هيدروليكى بالإضافة إلى كل من العلاقات التجريبية والتى برهنة فعاليتها والإعتبار إلى الاقتصادية والعملية فى الانشاء.

أ– أقل سرعة مسموح بها minimum Permissible Velocity

أقل سرعة مسموح بها هى السرعة التىتحتفظ بالسلت عالق فى المياه ولاتسمح بترسيبه فى قاع القناه (الإطماء). وهى أيضاً السرعة التى لاتسمح بنمو الحشائش والنباتات المائية والطحالب فى القناة. فإذا حدث إطماء أونمو للنباتات المائية فى القناة فإن مقطع القناة يتغير ويتسبب فى إنحراف التصميم عن القيمة المستنتجة منمعادلات السريان المنتظم. وغالباً ما تستخدم أقل سرعة مسموح بها هى ٠,٦ إلى ٠,٩ متر/ث (٢-٣متر/ث) وقد تؤخذ أحياناً ٠,٥ متر/ث.

ب– أكفأ مقطع هيدروليكى Best hydraulic Section

ويعتبر أكفأ مقطع هيدروليكى هو المقطع النصف دائرى. أما المقطع الشبه منحرف هو الأكثر إستعمالاً لسهولة الإنشاء وخاصة فى غرب الولايات المتحدة الأمريكية.

الإرتفاع الحر Freeboard

الإرتفاع الحر هو المسافه الراسية بين سطح المياه فى المجرى وقمة التبطين كما هو مبين فى الشكل (٥-٩). والأرتفاع الحر يعتبر معامل أمان لمنع موجات المياه على السطح من أن تفيض على جوانب القناه وإضعاف تثبيت المجرى. والطريقة المعتادة فى تحديد الإرتفاع الحر هى طريقة مكتب الاستصلاح الأمريكى *U.S.Bureau of Reclamation* معبراً عنها بالنظام الدولى للوحدات.

$$F = \left[0.4572\ Y_n\right]^{1/2} \qquad for \quad Q = 0.57\ m^3/s\ (20\ cfs)$$

$$F = \left[0.7620\ Y_n\right]^{1/2} \qquad for \quad Q = 85\ m^3\ s\ (3000\ cfs)$$

حيث:

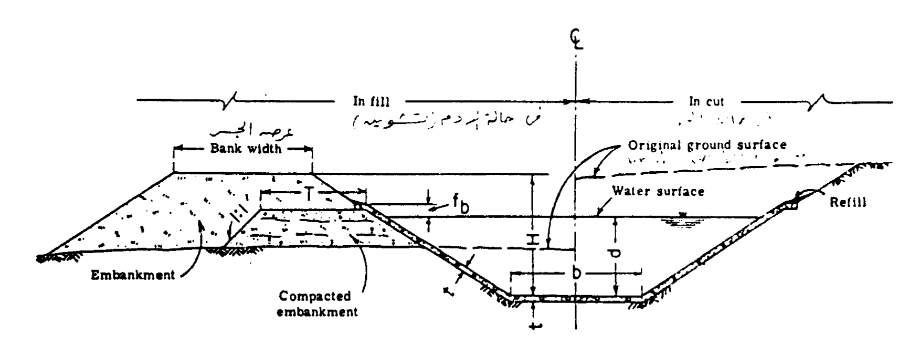
F = الأرتفاع الحر بالمتر

Y_n = العمق العادى أوعمق السريان المنتظم بالمتر.

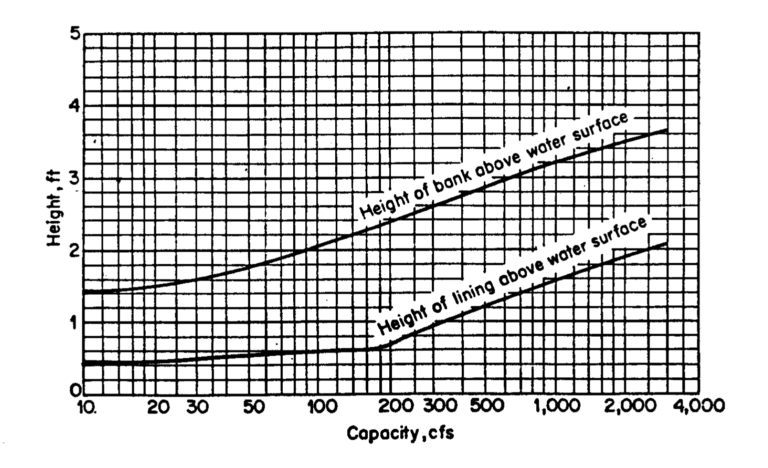
Q = التصرف التصميمى.

والإرتفاع الحر يتراوح بين ٠,٣ متر (١ قدم) للقنوات الصغيرة والغير عميقة إلى ١,٢ متر (٤قدم) للقنوات التى تحمل تصرف أكبر من أو يساوى ٨٥ م^3/ث. وأيضاً قد يستخدم إرتفاع حر يتراوح بين ٥٪ إلى أكثر من ٣٠٪ من عمق السريان فى المجرى.

ويمكن إيجاد الإرتفاع الحر أيضاً من المنحنيات التى قام بإعدادها مكتب الإستصلاح الأمريكى (USBR) كما هو مبين فى الشكل (٥-١٠).



شكل (٥-٩): قطاع نمطى فى قناة مبطنة يوضح الإرتفاع لحر f_b ومنسوب الأرض لطبيعية فى حالة الحفر وفى حالة الردم وتشوين الجسر (المصدر kreatz)



شكل (٥-١٠): إيجاد الإرتفاع الحر وارتفاع الجسر للمجارى المبطنة (المصدر USBR)

حساب أبعاد مقطع القناة Calculation of Section Dimensions

تعتمد حسابات مقطع القناة على معادلة مانينج وبعض العلاقات التجريبية التى أثبت فعاليتها.

١- تحديد معامل مانينج n حسب نوع مادة القناة.

٢- اختار ميل أو إنحدار قاع القناة S_0 حسب الطبوغرافية والاعتبارات العملية.

٣- تحديد التصرف التصميمى للقناة المطلوب نقله حسب المساحة المركبة على القناة والاحتياجات المائية للمحاصيل.

٤- تحديد معامل القطاع *SF* *Section Factor* من معادلة مانينج كالآتى:

$$SF = AR^{2/3} = \frac{nQ}{S_0^{1/2}}$$

٥- نحصل من المعادلة السابقة على عمق السريان Y_n على أساس أكفأ مقطع هيدروليكى

ويمكن استخدام شكل (٥-١١) فى إيجاد القيم الشائعة الاستخدام لعرض القاع b فى حالة القنوات المبطنة التى على شكل شبه منحرف وميولها الجانبية $Z = 2$ أو $Z = 3$ أى (١ رأسى إلى ٢ أفقى) ، (١ رأسى إلى ٣ أفقى) ونادراً ما يستخدم $Z = 0.5774$ وهى قيمة Z لأكفأ مقطع هيدروليكى.ويستخدم جدول (٥-٣) لإيجاد الميول الجانبية حسب نوع مادة القناة.

٦- بعد حساب أبعاد المجرى يتم حساب السرعة التوسطة للسريان ومقارنتها بأقل سرعة مسموح بها لعدم حدوث الإطماء (ترسيب الطمى) أو نمو الطحالب والنباتات المائية ويجب التأكد أيضاً من أن السريان فوق حرج

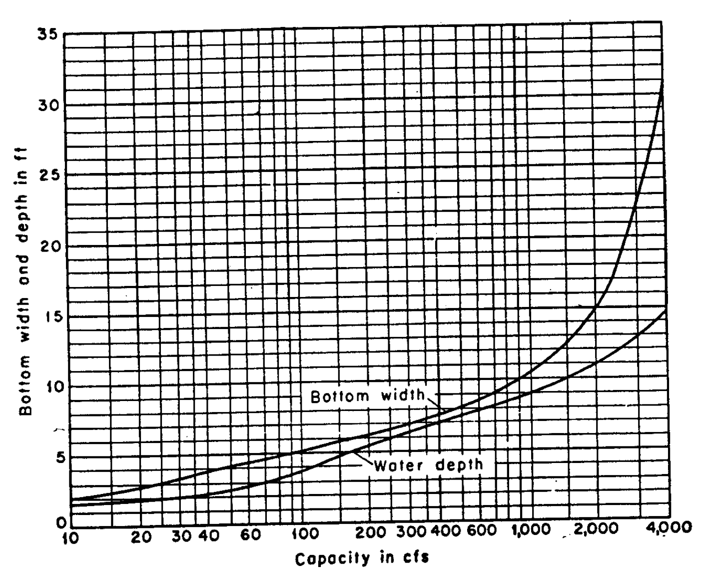
(هادئ) أى أن عمق السريان أكبر من عمق السريان الحرج $(Y_n > Y_c)$ ويتحقق هذا الشرط بالبعد بقدر كافى عن حالة السريان الحرج $F_r = 1$ ولذلك نأخذ فى التصميم كمعامل أمان رقم فرود أقل من ٠,٨ $F_r < 0.8$.

٧- الخطوة الأخيرة تتمثل فى إضافة الإرتفاع الحر F إلى عمق سطح المياه.

جدول (٥-٣): الميول الجانبية المناسبة للمجارى المائية المحفورة فى مختلف أنواع التربة

نوع التربة	الميل الجانبى أفقى : رأسى
صخرية	صفر : ١ (رأسية)
دبالية	١/٤ : ١
طينية صلبة أو مبطنة بالخرسانة	١ : ١ أو (١/٢ : ١)
ترابية مبطنة بالدبش أو ترابية كبيرة	١ : ١
طينية متماسكة أو ترابية صغيرة	١ ١/٢ : ١
رملية مفككة	٢ : ١
رملية لوحية أو طينية مسامية	٣ : ١

وبصفة عامة يمكن أخذ Z تساوى ١ للأرض الطينية، ١,٥ للأرض الصفراء، ٢ للأرض الرملية أما فى القنوات المبطنة بالخرسانة فقد تؤخذ ١,٥



Experience curves showing bottom width and depth of lined channels.
(*U.S. Bureau of Reclamation.*)

شكل (٥-١١): القيم الشائعة لعرض القاع وعمق المياه للقنوات المبنة. (المصدر USBR)

مثال:

المطلوب إنشاء قناه مبطنة بالخرسانة معامل مانينج n يساوى ٠,٠١٥ لنقل تصرف ١,٧ م^3/ث وتنشأ القناة على أرض تنحدر بمقدار ٠,٠٠٢ متر/متر. وقطاع المجرى على شكل شبه منحرف.

أفرض ميول الجوانب ١ إلى ٢ *(Z=2)* مستخدماً شكل (٥-١١) ومنها حدد أبعاد القطاع

الحل:

من الشكل (٥-١١) عند $Q = 1.7\ m^3/s\ (60\ cfs)$

$b = 4.4\ \ ft = 1.34 m$

تحسب معامل القطاع

$$SF = AR^{2/3} = \frac{nQ}{S^{1/2}} = \frac{0.015 \times 1.7}{(0.002)^{1/2}}$$

$$= 0.5702$$

من الشكل (٥-٧)

$$\frac{AR^{2/3}}{b^{8/3}} = 0.261 \quad \rightarrow \quad \frac{Y}{b} = 0.38 \qquad @\ Z = 2$$

$$\therefore Y_n = 0.509$$

Check the minimum permissible velocity

$$A = (b + ZY)Y = 1.34\,(0.509) + 2(0.509)^2$$

$$= 1.1935\, m^2$$

$$V_{av} = \frac{Q}{A} = \frac{1.7}{1.1935} = 1.424\ m/s$$

$$V_{av} > 0.6\ m/s\ \ minimum$$

تأكد من حالة السريان بحساب رقم فرود

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gD}} \qquad D = \frac{A}{T}$$

$$T = 6 + 2ZY$$

$$= 1.34 + 2(2)\,(0.509)$$

$$= 3.368\, m$$

$$F_r = \frac{1.434}{\left(9.81\,\dfrac{1.1935}{3.368}\right)^{1/2}} = 0.764 \ < 0.8 \ \ maximum$$

أضف الإرتفاع الحر F من شكل (٥-١٠) عند $Q = 1.7\ m^3/s\ \ (60\ cfs)$

$f = 0.6 \quad ft = 0.182m$

Total depth of lined trapezoidal channel

$$d_t = Y_n + F$$

$$= 0.507 + 0.182 = 0.689m$$

٢- القنوات القابلة للنحر Erodible Channels

القنوات التى تشق فى أرض غير متماسكة أو غير صخرية وأيضاً غير المبطنة تعتبر قناة قابلة للنحر أو التآكل. تصمم القنوات القابلة للنحر بحيث يحتفظ بإتزانها من حيث أقصى سرعة مسموح بها للمياه أو أقصى قوة تحدث على قاع القناه وجوانبها من حجم المياه المار فى المجرى تسبب تهايلها وتسمى قوى القص الحرج *Tractive Force*.

أقصى سرعة مسموح بها Maximim Permissible Velocity

أقصى سرعة مسموح بها فى المجرى هى السرعة التى لاتسبب نحر أو تآكل لقطاع المجرى. وتحسب أقصى سرعة مسموح بها من الجدول رقم (٥-٤) تبعاً لنوع مادة القناة. وهذا الجدول تنقسم فيه القيم إلى نوع المياه السارية إن كانت مياه صافية *clear water* أو مياه تحمل سلت أو غرين *transporting colloidal silts* فنتيجة الإتزان الديناميكى لتركيز السلت فى السريان فإن المياه المحملة بالسلت أقل نحراً لقطاع القناة من المياه الصافية. ولهذا السبب فإن أقصى سرعة مسموح بها فى حالة المياه المحملة بالسلت أكبر من المياه الصافية. والطريقة المتبعة فى تصميم القنوات القابلة للنحر هى:

جدول (٥-٤): أقصى قيمة للسرعات المسموح بها مع القيمة المناظرة لإجهاد القص لمجرى مستقيم (المصدر USBR)

نوع التربة	معامل الخشونة	مياه صافية				مياه تحمل رسوبيات			
		السرعة V		إجهاد القص τ		السرعة V		إجهاد القص τ	
	n	ft/s	m/s	lb/ft^2	N/m^2	ft/s	m/s	lb/ft^2	N/m^2
رمل ناعم	٠,٠٢٠	١,٥٠	٠,٤٦	٠,٠٢٧	١,٢٩٣	٢,٥٠	٠,٧٦	٠,٠٧٥	٣٥٩١
رملية لومية	٠,٠٢٠	١,٧٥	٠,٥٣	٠,٠٣٧	١,٧٧٢	٢,٥٠	٠,٧٦	٠,٠٧٥	٣,٥٩١
لومية سلتية	٠,٠٢٠	٢,٠٠	٠,٦١	٠,٠٤٨	٢,٢٩٨	٣,٠٠	٠,٩١	٠,١١٠	٥,٢٦٧
سلتية غروية	٠,٠٢٠	٢,٠٠	٠,٦١	٠,٠٤٨	٢,٢٩٨	٣,٥٠	١,٠٧	٠,١٥٠	٧,١٨٢
لومية متماسكة	٠,٠٢٠	٢,٥٠	٠,٧٦	٠,٠٧٥	٣,٥٩١	٣,٥٠	١,٠٧	٠,١٥٠	٧,١٨٢
رواسب بركانية	٠,٠٢٠	٢,٥٠	٠,٧٦	٠,٠٧٥	٣,٥٩١	٣,٥٠	١,٠٧	٠,١٥٠	٧,١٨٢
طينية صلبة متماسكة	٠,٠٢٥	٣,٧٥	١,١٤	٠,٢٦٠	١٢,٤٤٩	٥,٠٠	١,٥٢	٠,٤٦٠	٢٢,٠٥٠
سلتية غروية متماسكة	٠,٠٢٥	٣,٧٥	١,١٤	٠,٢٦٠	١٢,٤٤٩	٥,٠٠	١,٥٢	٠,٤٦٠	٢٢,٠٥٠
رسوبية صلبة	٠,٠٢٥	٦,٠٠	١,٨٣	٠,٦٧٠	٣٢,٠٨٠	٦,٠٠	١,٨٣	٠;٦٧٠	٣٢,٠٨٠
زلطية ناعمة	٠,٠٢٠	٢,٥٠	٠,٧٦	٠,٠٧٥	٣,٥٩١	٥,٠٠	١,٥٢	٠,٣٢٠	١٥,٣٢٢
لومية متدرجة	٠,٠٣٠	٣,٧٥	١,١٤	٠,٣٨٠	١٨,١٩٤	٥,٠٠	١,٥٢	٠,٦٦٠	٣١,٦٠١
سلتية متدرجة	٠,٠٣٠	٤,٠٠	١,٢٢	٠,٤٣٠	٢٠,٥٨٨	٥,٥٠	١,٦٨	٠,٨٠٠	٣٨,٣٠٤
زلط خشن	٠,٠٢٥	٤,٠٠	١,٢٢	٠,٣٠٠	١٤,٣٦٤	٦,٠٠	١,٨٣	٠,٦٧٠	٣٢,٠٨٠
كسر حجر وصخور	٠,٠٣٥	٥,٠٠	١,٥٢	٠,٩١٠	٤٣,٥٧١	٥,٥٠	١,٦٨	١,١٠٠	٥٢,٦٦٨

١- تحديد قيمة معامل مانينج n.

٢- تحديد أقصى سرعةمسموح بها حسب نوع مادة القناة ونوع المياه.

٣- التعويض في معادلة مانينج وحساب معامل القطاع Sf_c كالآتي:

$$AR^{2/3} = \frac{nQ}{S_0^{1/2}}$$

وحساب معادلة الاستمرار $Q = VA$

$$\therefore SF_v = R^{2/3} = \frac{nV}{S_0^{1/2}}$$

مثال:

مجرى مقطعه على شكل شبه منحرف عرض القاع ٠,٦ متر وميل الجوانب ١ رأسى إلى ٢ أفقى المطلوب إنشائها فى أرض لومية سلتية غير متماسكة *noncolloidal silty loam* احسب أقصى تصرف بالمتر مكعب/ث. إذا كان إنحدار القناة ٠,٠٠٢ متر/متر وتحمل القناة مياه صافية.

الحل:

من الجدول (٥-٤) حسب نوع التربة والمياه الصافية.

$n = 0.020$

$V_{max} = 0.61$ m/s for clear water

بالتعويض فى معادلة القطاع

$$SF_v = \frac{n V_{max}}{S_0^{1/2}} \qquad SF_v = \frac{0.02(0.61)}{(0.002)^{1/2}} = 0.2728$$

$$R = \frac{(b+ZY)\,Y}{b+ZY\,(1+Z^2)^{1/2}} = \frac{(0.6+2Y)Y}{0.6+2y\,(5)^{1/2}}$$

$$= \frac{0.6y+2Y^2}{0.6+4.4721Y}$$

$$R=(SF_v)^{3/2} = (0.2728)^{3/2} = 0.1425$$

$$0.1425(0.6+4.4721Y) = 0.60Y + 2Y^2$$

$$or\ \ 0 \doteq 2Y_n^2 - 0.0372\,Y_n - 0.0855$$

وهذه معادلة من الدرجة الثانية لها جذران واحد سالب والآخر موجب وطبيعى إننا نأخذ فقط الموجب لعمق المياه.

$$Y_n = \frac{+0.0372 \pm \sqrt{(0.0372)^2 + 4(2)(0.0855)}}{2(2)}$$

بأخذ الجذر الموجب

$$Y_n = 0.2163\ m$$

$$A = (b+ZY)Y = [0.60 + 2(0.2163)]\ 0.2163$$

$$= 0.2233 m^2$$

$$Q_{max} = V_{max} \cdot A$$

$$= 0.61\ (0.2233) = 0.136\ m^3 s$$

ويوجد محاولات كثيرة لإيجاد السرعة المتوسطة التى لاتحدث نحر أو إطماء فى نفس الوقت ومن هذه المحاولات معادلة كنيدى الشهيرة *Kennedy 1895* وكانت لدراسة التصرف والعمق فى ٢٢ قناه فى إقليم البنجاب فى الهند *Punjab* على مياه محملة بالسلت (رسوبيات) وكانت المعادلة:

$$V_0 = CY^x$$

حيث

V_o = سرعة عدم النحر والإطماء قدم/ث (السرعة المتزنة للمياه المحملة بالطمى)

Y = عمق السريان بالقدم

$$C = 0.84 \quad \& \quad X = 0.64$$

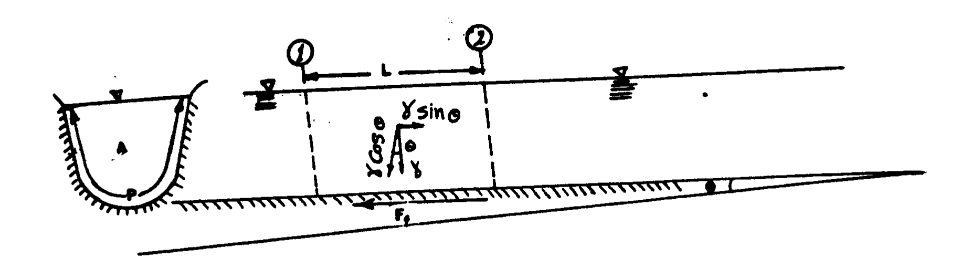
وبناء على دراسات أخرى عديدة فى أنحاء أخرى من العالم وجد أن قيمة C تعتمد على الأرض التى تشق فيها القناة وأن $X = 0.5$ فى حالة المياه الصافية أما قيمة C للتربة الناعمة القوام مثل التى توجد فى مصر $C = 0.56$

للتربة الرملية الخفيفة الناعمة كما فى البنجاب فى الهند	$C = 0.84$
للتربة الرملية الخفيفة الخشنة *Coarse light sandy soils*	$C = 0.92$
للتربة السلتية اللومية الرملية *Sandy loamy silts*	$C = 1.01$
للتربة السلتية الخشنة *Coarse silt or hard-soil debris*	$C = 1.09$

عند سريان مياه تحمل كمية معينة من الطمى فإذا زاد عن حد معين يحدث ترسيب (إطماء) أو إنخفضت السرعة نتيجة مرور المياه فى قطاع أكبر والعكس إذا قل تركيز الطمى عن النسبة المعينة تكون النتيجة تعويض هذا النقص بالنحر فى جوانب وقاع المجرى.

قوى السحب المسموح بها Permissible Tractive Force

يصحب سريان المياه فى القنوات المكشوفة قوى تتولد فى إتجاه السريان تسبب سحب لحبيبات التربة فى المحيط المبتل من القطاع وقد تصل هذه القوى إلى تحريك حبيبات التربة منمكانها وحملها مع الماء لتترسب فى مكان آخر من المجرى. بمساواة القوى التى تسبب الحركة بالقوى التى تقاوم الحركة يمكن تحديد جهد القص المتوسط على طول المحيط المبتل كما بالشكل كالآتى:



حيث $(A.L)$ = حجم المياه بين المقطعين (١) ، (٢)

γ = الوزن النوعى للمياه

$$\gamma = 9.81\ kN/m^3$$
$$= 1000\ kg/m^2 = 62.4\ lb/ft^3$$

F_f = قوى الاحتكاك (القص) Shear or drag force

على طول المحيط المبتل هو unit tractive force per unit wetted area (τ_0)

فإن $F_f = \tau_0 .P.L$

وبمساواة المعادلتين $F_f = \tau_0 .P.L = \gamma\ Sin\ \theta .A.L$

وحيث أن زاوية ميل قاع المجرى صغيرة $sin\ \theta = tan\ \theta = S$

حيث S الميل الطولى لقاع المجرى

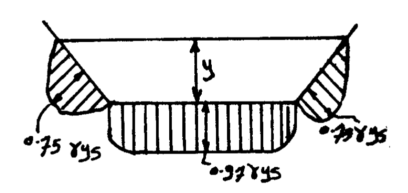
$$\tau_0 = \frac{\gamma\ S.A\ L}{P L}$$

$$\therefore \tau_0 = \gamma\ R\ S \qquad kg/m^2 \qquad or\ N/m^2 \qquad or\ \ lb/ft^2$$

وتوزيع جهد القص على المحيط المبتل غير متساوى حيث أن جهد القص الحرج لجوانب المجرى يقل عنه عند القاع بمعنى أن حركة حبيبات التربة تبدأ على الجوانب قبل القاع حيث أننسبة جهد القص على الجوانب إلى جهد القص

على القاع يساوى تقريبا ٠,٧٥ بالنسبة لقطاع شبه المنحرف وهو يعتمد على ميل الجوانب وكذلك زاوية الراحة *Angle of repose* لمادة القناة كما فى الشكل.

وتستخدم قيمة جهد القص الحرج فى تصميم القنوات القابلة للنحر حيث يمكن إيجاد قيمة نصف القطر الهيدروليكى من المعادلة السابقة وبالتالى تحديد أبعاد المقطع.



مثال:

احسب جهد القص المتوسط الواقع على المحيط المبتل لقناة مستطيلة القطاع عرض قاعها ٣ متر وميل القاع ١متر لكل ١كم وعمق الماء فيها ١,٢متر.

الحل:

$$\tau_0 = \gamma R S$$

$$= 1000\,\frac{kg}{m^3}\left(\frac{1.2 \times 3}{3 + 2 \times 1.2}\right)\left(\frac{1}{1000}\right)$$

$$= 1000 \times 0.666 \times 0.001 = 0.666\, kg/m^2$$

$$= 9810 \times 0.666 \times 0.001 = 6.54\, N/m^2$$

السريان المتغير (غير المنتظم) Varied (nonuniform) Flow
أوالسريان المستقر متدرج التغير Steady Gradually Varied Flow

يتميز السريان الغير منتظم بتغير عمق السريان مع المسافة أى أن $\left(\frac{dy}{dx} \neq 0\right)$ ويحدث ذلك نتيجة لتغير السرعة مما يحتم تغيرا فى مساحة المقطع الهندسى لمجرى السريان والذى يظهر فى تذبذب العمق زيادة أو نقصانا.

إحدى الطرق المستخدمة فى حل مسائل السريان المتغير هى طريقة الخطوة بخطوة *Step-by-Step procedure* والتى تفترض أن الفاقد فى الطاقة فى مسافة قصيرة من المجرى يتساوى معه فى حالة السريان المنتظم والذى فيه نصف القطر الهيدروليكى والسرعة المتوسطة تساوى المتوسط العددى للقيمتين عند بداية المسافة القصيرة ونهايتها. وبكتابة معادلة الطاقة للحالة المبينة بالشكل.

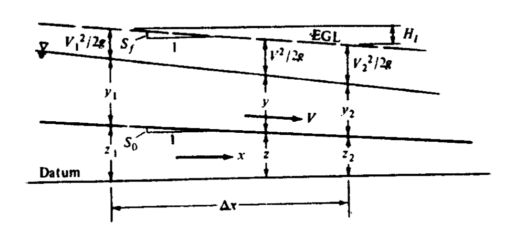
$$h_l = S_f\ x$$

$$Z_1 - Z_2 = S_0 X$$

$$Z_1 + Y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + Y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_l$$

$$S_0 X + Y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = Y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + S_f X$$

$$\therefore X = \frac{\left(Y_1 + \frac{V_1^2}{2g}\right) - \left(Y_2 + \frac{V_2^2}{2g}\right)}{S_f - S_0} = \frac{E_1 - E_2}{S_f - S_0}$$



حيث: S_f: ميل خط الطاقة ، S_0 = ميل قاع المجرى

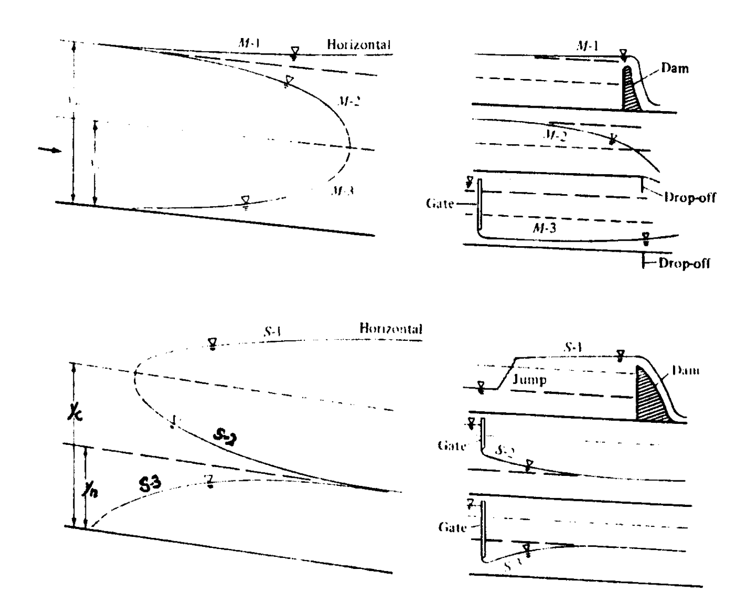
وتحسب ميل خط الطاقة S_f من معادلة مانينج

$$\frac{Q}{A} = V = \frac{1}{n} R^{2/3} S_f^{1/2}$$

$$\therefore S_f = \frac{n^2 V_{avg}^2}{R_{avg}^{4/3}}$$

$$V_{avg} = \frac{V_1 + V_2}{2} \quad R_{avg} = \frac{R_1 + R_2}{2}$$

ويعتمد شكل سطح المياه فى مجرى ما على العلاقة بين عمق السريان Y والعمق الحرج Y_c والعمق المنتظم (العادى) Y_n *normal depth* كما فى الشكل (٥-١٢) الذى يبين ٣ حالات شائعة للسريان المتغير لميل معتدل *mild slope* *(M)* حيث تكون S_c S_0 وكذلك Y_c > Y_n والثلاث حالات الأخرى للسريان المتغير لميل شديد الإنحدار *Steep slope(s)* حيث تكون $S_c < S_0$ وكذلك Y_c Y_n.



شكل (٥-١٢): شكل سطح المياه للسريان المتغير عند حالتين لإنحدار قاع المجرى الأولى عند الميل المعتدل والثانية عند ميل شديد الإنحدار

مثال:

تسرى ميــاه بتصــرف ٨,٥ م^{٣}/ث فى قنـاة مسـتطيلة المقطـع عرضـها ٣ متر. ميل قاع المجرى سالب ويرتفع ٠,٢ متر لكل ١٠٠ متر فى إتجاه السـريان. فإذا كان عمق المياه ينخفض من ٢,١٠ متر إلى ١,٦٥ متر خـلال طـول مقـداره ١٥٠ متر. احسب معامل مانينج n.

الحل:

$$V_1 = \frac{Q}{y_1.b} = \frac{8.5}{2.1 \times 3} = 1.35\ m/s \qquad \frac{V_1^2}{2g} = \frac{(1.35)^2}{2\times 9.81} = 0.093m$$

$$V_2 = \frac{Q}{y_2.b} = \frac{8.5}{1.65 \times 3} = 1.72\ m/s \qquad \frac{V_2^2}{2g} = \frac{(1.72)^2}{2\times 9.81} = 0.151m$$

$$R_1 = \frac{y_1.b}{2y_1 + b} = \frac{2.1 \times 3}{2 \times 2.1 + 3} = 0.875m$$

$$R_2 = \frac{y_2.b}{2y_2 + b} = \frac{1.65 \times 3}{2 \times 1.65 + 3} = 0.885m$$

$$V_{avg} = \frac{1.35 + 1.72}{2} = 1.54m/s$$

$$R_{avg} = \frac{0.875 + 0.785}{2} = 0.83m$$

$$Z_1 + Y_1 + \frac{V_1^2}{2g} - h_l = Z_2 + Y_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$0 + 2.10 + 0.093 - h_l = 0.2\,(1.5) + 1.65 + 0.151$$

$$h_l = 0.092m$$

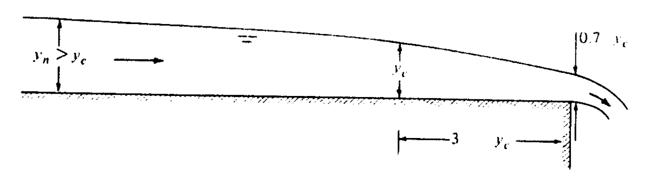
$$S = \frac{0.092}{150} = 0.000613 = \frac{n^2 (1.54)^2}{1 \times (0.83)^{2/3}} = 2.68\ n^2$$

$$n = 0.0151$$

مثال:

قناة مقطعها على شكل مستطيل عرضه ٣ متر وينتهى المجرى بسقوط حر *Free outfall* فإذا كان التصرف ١٠م^3/ث والميل الطولى ٠,٠٠٢٥ ومعامل مانينج ٠,٠١٦ احسب Y_c . Y_n واحسب سطح المياه لمسافة تبعد ١٥٠متر أعلى نقطة السقوط الحر *upstream from the outfall*.

الحل:



Critical depth at a free overfall.

$$q = \frac{Q}{b} = \frac{10}{3} = 3.33\ m^3/s \quad per\ m$$

$$Y_c = \sqrt[3]{q^2/g} = \sqrt[3]{\frac{3.33^2}{9.81}} = 1.042\ \ m$$

$$Q = \frac{1}{n}\ AR^{2/3}\, S^{1/2}$$

$$10 = \frac{1}{0.016}\ AR^{2/3}\ \ (0.0025)^{1/2}$$

$$AR^{2/3} = 3.2$$

$$\frac{AR^{2/3}}{b^{8/3}} = \frac{3.2}{3^{8/3}} = \frac{3.2}{18.7207} = 0.1709$$

من منحنيات السريان المنتظم

$$\frac{y}{b} \approx 0.446 \qquad \therefore Y_n \approx 1.34m$$

وحيث أن Y_c Y_n السريان تحت حرج (هادئ) *subcritical* ويكون عمق الماء عند حافة السقوط $Y = 0.7\ Y_c = 0.7\ (1.04) = 0.73\ m$ ويكون العمق الحرج ١,٠٤ متر عند مسافة تبعد حوالى ٣ متر أعلى الحافة.

$$S_f = \frac{n^2\, V_{av}^2}{1 \times R_{av}^{4/3}} \qquad\qquad X = \frac{\Delta E}{S_f - S_0} = \frac{\Delta E}{S_f - 0.0025}$$

Y (m)	V (m/s)	$\frac{V^2}{2g}$ (m)	E (m)	V_{av} (m/s)	R_{av} (m)	S_f	X (m)	$\sum X$ (m)
1.04	3.205	0.524	1.546					
				3.06	0.630	0.00443	6	
1.14	2.924	0.436	1.576					6
				2.80	0.662	0.00346	33	
1.24	2.688	0.368	1.608					39
				2.58	0.694	0.00276	185	
1.34	2.488	0.316	1.656					224

محتويات الكتاب

التحويل من النظام الإنجليزى إلى النظام المترى

LENGTH:

Feet (ft) × 0.3048*	= Meters (m)
Inches (in) × 0.0254*	= Meters (m)
Miles (mi) × 1009.34	= Meters (m)
Miles (mi) × 1.60934	= Kilometers (km)
Nautical miles × 1852.0*	= Meters (m)
Yards (yd) × 0.9144*	= Meters (m)

AREA:

Feet^2 (ft^2) × 0.0.0929030	= Meters^2 (m^2)
Acres × 4046.86	= Meters^2 (m^2)
Miles^2 (mi^2) × 2.58999	= Kilometers^2 (m^2)

VOLUME:

Feet^3 (ft^3) × 0.02831685	= Meters^3 (m^3)
Feet^3 (ft^3) × 28.31685	= Literst
Yards^3 (yd^3) × 0.764555	= Meters^3 (m^3)
Acre feet × 1233.48	= Meters^3 (m^3)
Gallons (gal) × 0.00378541	= Meters^3 (m^3)
Gallons (gal) × 3.78541	= Literst

VELOCITY:

Feet per second (ft/s) × 0.3048*	= Meters per second (m/s)
Miles per hour (mi/hr) × 0.44707*	= Meters per second (m/s)
Miles per hour (mi/hr) × 1.60934	= Kilometers per hour (km/hr)
Knots × 0.514444	= Meters per second (m/s)
Knots × 1.852	= Kilmeters per hour (km/hr)

DISCHARGE:

Feet^3 per second (ft^3/s) × 0.02831685	= Meters^3 per second (m^3/s)
Millions gallons per day × (mgd) 0.0438126	= Meters^3 per second (m^3/s)
Acre-feet per day × 0.0142764	= Meters^3 per second (m^3/s)
Gallons per minute (gal/min) × 0.0000630902	= Meters^3 per second (m^3/s)

FORCE:

Pounds (lb) × 0.453592	= Kilograms force (kgf)
Pounds (lb) × 453.592	= Grams (g)
Pounds (lb) × 4.44822	= Newtons (N)
Tons × 0.907185	= Metric tons

PRESSURE:
Pounds per foot^2 (lb/ft^2) × 47.8803 ... = Newtons per meter^2 (N/m^2)
Pounds per foot^2 (lb/ft^2) × 4.88243 ...... = Kilograms force per meter^2 (kgf/m^2)
Pounds per inch^2 (lb/in^2) × 6894.76 .. = Newtons per meter^2 (N/m^2)
Pounds per inch^2 (in/ft^2) × 703.070 .... = Kilograms force per meter^2 (kgf/m^2)
Millibars (mb) × 100.0* .... = Newtons per meter^2 (N/m^2)

UNIT WEIGHT:
Pounds per foot^3 (lb/ft^3) × 157.0875 .. =Newtons per meter^3 (N/m^3)
Pounds per foot^3 (lb/ft^3) × 16.0185 .... = Kilograms force per meter^3 (kgf/m^3)
Pounds per foot^3 (lb/ft^3) × 0.0160185 ..... = Grams per centimeter^3 (g/cm^3)

MASS AND DENSITY
Slugs × 14.5939 .... = Kilograms (kg)
Slugs per foot^3 × 515.379 .... = Kilograms force per meter^3 (kgf/m^3)

VISCOSITY
Pounds seconds per foot^2 (lb/ft^2)
or slugs per foot second × 47.8803 ... = Newtons seconds per meter^2 (Ns/m^2)
Feet^2 per second (ft/s) × 0.092903 .... = Meters^2 per second (m^2/s)

*** Exact values.**
Liters × 1000.0 = centimeters^3
Liters × 0.001= meters^3
Metric tons × 1000.0 = kilograms force
kilograms force × 100.000.0 = newtons
Newtons × 100.000.0 =dynes
Newton seconds per meter^2 × 0.1 = poises

الرموز في النظام الدولي للأرقام ومعناها

Prefix (abbreviation)	Meaning
Mega- (M)	1,000,000.
Kilo- (k)	1,000.
Hecto- (h)	100.
Deka- (da)	10.
Deci- (d)	0.1
Centi- (c)	0.01
Milli- (m)	0.001
Micro- (μ)	0.00001

CONVERSION FACTORS تحويلات هامة

VOLUME

1 U.S.Gallon = 231. cu. inches
= 0.1337 cu.ft
= 3.785 litres
= 0.833 Imp. gal

1 Imperial Gallon = 1.2 U.S. gal

1 Cubic Foot = 7.48 U.S. gal.
= 0.0283 cu. meter

1 Litre = 0.2642 U.S. gal

1 Cubic Meter = 35.314 cu.ft
= 264.2 U.S. gal

1 Acre Foot = 43.560 cu. ft.
= 325.829 U.S. gal

HEAD

1 lb. per sq. inch = 2.31 ft head of water
= 2.04 inches Mercury
= 0.0703 kg. per sq. in.

1 ft. of water = 0.433

1 Inch of Mercury (or vacuum) = 1.132 ft. ofwater

1 Kilogram per sq. cm. = 14.22 lb. per sq. in
= 14 7 lb. per sq. in

1 Atmosphere = 34.0 ft. of water
= 10.35 meters of water

CAPACITY

1 Cubic foot per second (c.f.s.) = 449 g.p.m.

1 Million gal. per day (m.g.d.) = 695 g.p.m.

1 Acre foot per day = 227 g.p.m.

1 Litre per second = 15.85 g.p.m.

1 Cubic meter per minute = 264.2 g.p.m.

1 Cubic meter per hour = 4.4 g.p.m.

1 Miner's inch- original std .= 11.22 g.p.m.

WEIGHT

1 U.S.gal. of water = 8.33 lb.

1 cu. ft. ofwater = 62.35 lb

Specific Gravity of Sea Water = 1.02 to 1.03

1 Kilogram = 2.2 lb

1 Metric ton = 2204.6 lb

AREA

1 Hectare = 2.4709 acre

1 Acre = 4047 sq. meter

1 Hectare = 10000 sq. meter

1 Dunam = 1000 Sq. meter

1 Feddan = 4200 Sq. meter

LENGTH

1 Mile = 5280 feet
= 1.61 kilometers

1 Inch = 2.54 centimeters

1 Meter = 3.2808 feet
= 39.3696 inches

1 Yard 3.00 feet meters

1 Chain 66 feet

1 mil = 0.001 in (millinch)

HORSEPOWERS AND ELECTRICAL DATA

1 H.P. = 33.000 ft.-lb. per minute

1 H.P. = 550 ft.-lb. per second

1 H.P. = .746 kilowatts = 746 watts

Wate hp. $= \dfrac{g.p.m. \times Head\ in\ meter}{3960}$

3 phase watts = Volts

1 H.P. = 75 kg.-m per secod

1 H.P.-hr = 2546 BTU

1 kw = 1.36 H.P.

Wate hp $= \dfrac{m^3 / hr \times Head\ in\ meter}{270}$

المراجـع

- **ASAE Standrads 1999. s**. Josph, MI USA

- **Bliesner, R.D., and J. keller. 1982.** Diesel Powered Pumping for Irrigation. 2nd ed. Detroit, Michigan: Detroit Diesel Allison Division of General Motors Crop.

- **Brater, E.F and H.W. King. 1976** Handbook of Hydraulics. New York Mc Graw Hill.

- **Burt, C.M. 1995.** The Surface Irrigation Manual Waterman Industries, Inc. Ca. UsA.

- **Cherkassky, V. 1990.** Pumps Fans Compressors. Mir Publishers Moscow, English translation.

- **Chow, V.T. (1959).** open channel Hydraulics. New York Mc Graw Hill.

- **Cuenca, R.H. 1989.** Irrigation System Design. Englewood cliffs, New Jersey: Prentice - Hall.

- **Douglas, J.F. 1989.** Solving Problems in Fluid Mechanics. ELBS/Longman.

- **Douglas, J.F., J.M. Gasiorek, and J.A.Swaffield. 1990**. Fluid Mechanics. ELBS/Longman.
- **Featherstone, R.E. and C. Nalluri 1982.** Civil Engineering Hydraulics. ELBS Collins.

- **Fraenkel, P.L. 1986.** Water lifting Devices. Irrigation & Drainage Paper No. 43, Fao, Rome.

- **James, Larry G. 1988.** Principles of Farm Irrigation System Design John Wiley & Sons.

- **Karassik, I.J., W.C. 1988.** Hydraulic Handbook. Fairbanks Morse Pump Corporation.

- **Karassik, I.J., W.C. Krutzsch, W.H. Fraser, and J.P. Messina. 1976.** Pump Handbook. New York: Mc Graw-Hill.

- **Keller, J. and R.D. Bliesner. 1990.** Sprinkle and Trickle Irrigation. AVI Book by an Nostrand Reinhold New York.

KRAATZ, D.B. 1977. Irrigation Canal Lining. FAO Land and water Development Series No. 1.

- **Michael, A.M. 1978.** Irrigation Theory and Practice. Vikas Publishing House PVT LTD.

- Nir Z 1982. **Pumps and Pumping**. In **CRC Handbook of Irrigation** Technology, ed. H. J. Finkel, vol. 1, pp. 299-338. **Boca Raton, Florida** CRC Press.

- **Prasuhn, Alan L. 1992.** Fundamentals of Hydraulic Engineering. Oxford univ Press, Inc.

- **Roberson, J.A. and C.T. Crowe 1980.** Engineering Fluid Mechanics. Houghton Mifflin Company.

- **Schwab, G.O., R. Frevert, T. Edminster, and K.Barnes. 1981.** Soiland Water Conservation Engineering. Jon Wiley & Sons

- **Simon, A.L. 1981.** Practial Hydraulics. John Wiley & Sons.

- **U.S. Soil Conservation Service (1959).** "Irrigation Pumping Plants" Irrigation, Section 15, Chapter 8., Washington D.C

- **USBR. 1978.** Design of Small Canal Structures. Denver, Colorado.

-**Linsley, R.K. and J.B. Franzini 1972.** Water-Resources Engineering. Second edition. New York: Mc Graw- Hill.



رقم الإيداع بدار الكتب والوثائق القومية
٢٠٠١/١٨٢٥
الترقيم الدولى 4 - 17 - 6015 - 977 I.S.B.N

الناشـر
مكتبة بستان المعرفة
لطبع ونشر وتوزيع الكتب
كفر الدوار - الحدائق ☎: ٢٢٤٢٢٨